

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2001年 9月10日

出願番号

Application Number:

特願2001-274360

[ST.10/C]:

[JP 2001-274360]

出願人

Applicant(s):

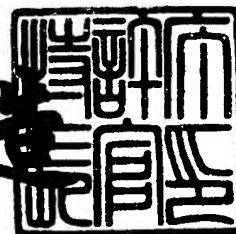
富士写真フイルム株式会社

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2002年 3月12日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2002-3016084

【書類名】 特許願

【整理番号】 FSP-01628

【提出日】 平成13年 9月10日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 B29C 67/00
B29K105/24

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式会社内

【氏名】 永野 和彦

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式会社内

【氏名】 岡崎 洋二

【特許出願人】

【識別番号】 000005201

【氏名又は名称】 富士写真フイルム株式会社

【代理人】

【識別番号】 100079049

【弁理士】

【氏名又は名称】 中島 淳

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】

【識別番号】 100084995

【弁理士】

【氏名又は名称】 加藤 和詳

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】

【識別番号】 100085279

【弁理士】

【氏名又は名称】 西元 勝一

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】

【識別番号】 100099025

【弁理士】

【氏名又は名称】 福田 浩志

【電話番号】 03-3357-5171

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2001- 40756

【出願日】 平成13年 2月16日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 006839

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9800120

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光造形装置及び露光ユニット

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形装置であって、

光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで露光する露光手段と、

該露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させる移動手段と、
を備えた光造形装置。

【請求項 2】 光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形装置であって、

光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調され且つピコ秒パルス幅でパルス駆動された光ビームで露光する露光手段と、

該露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させる移動手段と、
を備えた光造形装置。

【請求項 3】 前記露光手段を、光源と、該光源から出射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間変調素子と、を含んで構成した請求項 1 または 2 に記載の光造形装置。

【請求項 4】 前記空間変調素子を、デジタル・マイクロミラー・デバイスで構成した請求項 3 に記載の光造形装置。

【請求項 5】 光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形装置であって、

光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで露光する走査機能を備えた露光手段と、

該露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させる移動手段と、
を備えた光造形装置。

【請求項 6】 前記露光手段を、光源と、該光源から出射された光ビームを面

像データに応じて各画素毎に変調する空間変調素子を第 1 の走査方向に配列した空間変調素子アレイと、を含んで構成した請求項 5 に記載の光造形装置。

【請求項 7】前記空間変調素子が回折格子光バルブまたはデジタル・マイクロミラー・デバイスである請求項 6 に記載の光造形装置。

【請求項 8】前記露光手段を、光源と、該光源から出射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間変調素子を第 1 の走査方向に配列した空間変調素子アレイと、該第 1 の走査方向と交差する第 2 の走査方向に走査する走査ミラーと、で構成した請求項 5 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の光造形装置。

【請求項 9】前記移動手段は、前記露光手段を前記第 1 の走査方向及び第 1 の走査方向と交差する第 2 の走査方向に移動させる請求項 8 に記載の光造形装置。

【請求項 1 0】前記露光手段を複数設け、該複数の露光手段の各々を光硬化性樹脂の表面に対し各々独立に相対移動可能にした請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の光造形装置。

【請求項 1 1】光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形装置であって、

光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで走査して露光する露光ユニットを、アレイ状に複数配列した露光手段を備えた光造形装置。

【請求項 1 2】前記露光ユニットを、光源と、該光源から出射された光ビームを集光する集光光学系と、該集光光学系により集光された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する偏向素子と、で構成した請求項 1 1 に記載の光造形装置。

【請求項 1 3】前記光源、前記集光光学系、及び前記偏向素子を、パッケージ内に封止した請求項 1 2 に記載の光造形装置。

【請求項 1 4】前記偏向素子を、2 次元マイクロ・スキャナで構成した請求項 1 2 または 1 3 に記載の光造形装置。

【請求項 1 5】前記光源を、窒化ガリウム系半導体レーザ、窒化ガリウム系半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長変換素

子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザ、赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザまたはファイバアンプ、及び窒化ガリウム系半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザのいずれかのレーザ光源で構成した請求項 1 ～ 1 4 のいずれか 1 項に記載の光造形装置。

【請求項 1 6】前記光源を、窒化ガリウム系半導体レーザをファイバに結合した第 1 のレーザ光源、複数の窒化ガリウム系半導体レーザを合波光学系によりファイバに結合した第 2 のレーザ光源、該第 1 のレーザ光源のファイバおよび第 2 のレーザ光源のファイバの少なくとも一方を線状のレーザ光束が出射されるようにアレイ状に配列した線状レーザ光源、及び該第 1 のレーザ光源および第 2 のレーザ光源のファイバの少なくとも一方をスポット状のレーザ光束が出射されるようにバンドル状に配列した面状レーザ光源のいずれかのレーザ光源で構成した請求項 1 ～ 1 5 のいずれか 1 項に記載の積層造形装置。

【請求項 1 7】前記光源を、複数のレーザ光源、及び該複数のレーザ光源から出射されたレーザビームを合波する合波光学系を含んで構成した請求項 1 ～ 1 6 のいずれか 1 項に記載の光造形装置。

【請求項 1 8】光源と、該光源から出射された光ビームを集光する集光光学系と、該集光光学系により集光された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する偏向素子と、を備えた露光ユニット。

【請求項 1 9】光源と、該光源から出射され且つピコ秒パルス幅でパルス駆動された光ビームを集光する集光光学系と、該集光光学系により集光された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する偏向素子と、を備えた露光ユニット。

【請求項 2 0】前記光源、前記集光光学系、及び前記偏向素子を、パッケージ内に封止した請求項 1 8 または 1 9 に記載の露光ユニット。

【請求項 2 1】前記偏向素子を、2 次元マイクロ・スキャナで構成した請求項 1 8 ～ 2 0 のいずれか 1 項に記載の露光ユニット。

【請求項 2 2】前記光源を、窒化ガリウム系半導体レーザ、窒化ガリウム系

半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザ、赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザまたはファイバアンプ、及び窒化ガリウム系半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザのいずれかのレーザ光源で構成した請求項 1 8 ～ 2 1 のいずれか 1 項に記載の露光ユニット。

【請求項 2 3】前記光源を、窒化ガリウム系半導体レーザをファイバに結合した第 1 のレーザ光源、複数の窒化ガリウム系半導体レーザを合波光学系によりファイバに結合した第 2 のレーザ光源、該第 1 のレーザ光源のファイバおよび第 2 のレーザ光源のファイバの少なくとも一方を線状のレーザ光束が出射されるようにアレイ状に配列した線状レーザ光源、及び該第 1 のレーザ光源および第 2 のレーザ光源のファイバの少なくとも一方をスポット状のレーザ光束が出射されるようにバンドル状に配列した面状レーザ光源のいずれかのレーザ光源で構成した請求項 1 8 ～ 2 1 のいずれか 1 項に露光ユニット。

【請求項 2 4】前記光源を、複数のレーザ光源、及び該複数のレーザ光源から出射されたレーザビームを合波する合波光学系を含んで構成した請求項 1 8 ～ 2 3 のいずれか 1 項に記載の露光ユニット。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光造形装置及び露光ユニットに係り、詳しくは、光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形装置、及びこの光造形装置に好適に使用することができる露光ユニットに関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術及び発明が解決しようとする課題】

近年、3 次元 C A D (Computer Aided Design) システムの普及に伴い、3 次元 C A D によりコンピュータ上の仮想空間に作成された 3 次元形状を、C A D データに基づき光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形

システムが利用されている。この光造形システムでは、コンピュータ上でCADデータを所定間隔でスライスして複数の断面データを作成し、各断面データに基づいて液状の光硬化性樹脂の表面をレーザ光で走査して層状に硬化させ、樹脂硬化層を順次積層して3次元モデルを造形する。光造形方法としては、上方開放型の槽内に液状の光硬化性樹脂を貯留しておき、光硬化性樹脂の液面近くに配置した造形テーブルを樹脂の自由液面から順次沈下させながら樹脂硬化層を積層する自由液面法が広く知られている。

【0003】

従来、この光造形システムに使用される光造形装置には、「丸谷洋二：光造形システムの基礎・現状・問題点、型技術、第7巻第10号、pp18-23, 1992」に示されるように、レーザプロッタ方式により走査を行うものと可動ミラー方式により走査を行うものがあった。

【0004】

レーザプロッタ方式による光造形装置を図32に示す。この装置では、レーザ光源250から発振されたレーザ光は、シャッタ252を備えた光ファイバ254を通してXYプロッタ256に到達し、XYプロッタ256から容器260内の光硬化性樹脂262の液面266に照射される。また、X位置決め機構258aとY位置決め機構258bとを備えたXY位置決め機構258により、XYプロッタ256のX方向、Y方向の位置が制御される。従って、XYプロッタ256をX方向、Y方向に移動させながら、シャッタ252によりXYプロッタ256から照射されるレーザ光を断面データに応じてオンオフ制御することで、液面266の所定部分の光硬化性樹脂262を硬化させることができる。

【0005】

しかしながら、レーザプロッタ方式による光造形装置では、シャッタ速度やプロッタの移動速度には限界があり、造形に長時間を要する、という問題がある。

【0006】

次に、従来のガルバノメータ・ミラーを用いた可動ミラー方式による光造形装置を図33に示す。この装置では、レーザ光270は、X軸回転ミラー272、Y軸回転ミラー274に反射されて光硬化性樹脂262に照射される。X軸回転

ミラー 2 7 2 は Z 軸を回転軸として回転することで照射位置の X 方向の位置を、Y 軸回転ミラー 2 7 4 は X 軸を回転軸として回転することで照射位置の Y 方向の位置を制御する。この可動ミラー方式では、レーザプロッタ方式に比べ走査速度を上げることができる。

【 0 0 0 7 】

しかしながら、可動ミラー方式による光造形装置においても、微小なレーザスポットで走査するために、例えば $2 \sim 12 \text{ m/s}$ の高速走査を行っても、10 センチメートル立方程度の 3 次元モデルの造形に 8 ～ 24 時間もの時間を要する等、造形に長時間を要している。また、レーザ光 2 7 0 は、Y 軸回転ミラー 2 7 4 に所定範囲の角度で入射した場合にしか反射されないため照射領域が限定される。そこで、照射領域を広げるために Y 軸回転ミラー 2 7 4 を光硬化性樹脂 2 6 2 から離れた高い位置に配置すると、レーザスポットの径が大きくなって位置決め精度が悪くなり、造形精度が低下する、という問題がある。また、Y 軸回転ミラー 2 7 4 の回転角度を大きくした場合にも、照射範囲は拡大するが、同様に位置決め精度が悪くなり、ピン・クッション・エラーが増加する。更に、ガルバノメータ・ミラーを用いた光造形装置には、歪み補正や光軸調整などの光学系の調整が複雑である、光学系が複雑で装置全体が大型化する、といった問題もある。

【 0 0 0 8 】

また、いずれの方式による光造形装置においても、レーザ光源としては高出力の紫外線レーザ光源が使用され、従来はアルゴンレーザ等のガスレーザまたは THG（第 3 高調波）による固体レーザが一般的であったが、ガスレーザはガスの充填等のメンテナンスが面倒であることに加え、高価であり光造形装置の価格を引き上げ、冷却用チラー等の付帯設備が必要で装置全体が大型化する。THG 固体レーザにおいては、Q スイッチのパルス動作であり、繰り返しスピードが遅く、高速露光には不適切であった。また、THG 光を用いるために波長変換効率が悪く高出力化できないことに加え、励起半導体レーザとして高出力のものを用いなければならない、非常にコストの高いものであった。

【 0 0 0 9 】

この問題に鑑み、特開平 1 1 - 1 3 8 6 4 5 号公報には、単一のピクセルより

大きなサイズのスポットで露光領域を照射することができる光源を複数備え、複数の光源によりピクセルを多重露光する光造形装置が提案されている。この装置では、複数の光源によりピクセルを多重露光するので、個々の光源の出力は小さくてもよい。安価な発光ダイオード（LED）を光源として使用することができる。

【0010】

しかしながら、特開平11-138645号公報に記載の光造形装置では、各光源のスポットサイズは単一のピクセルより大きいため、高精細な造形には使用できず、また、複数の光源によってピクセルを多重露光するため動作に無駄が多く、造形に長時間を要する、という問題もある。また、光源の数が増えることで露光部が大型化する、という問題もある。更に、LEDの出力光量で多重露光しても、十分な分解能が得られない虞もある。

【0011】

本発明は上記従来技術の問題点に鑑み成されたものであり、本発明の目的は、高速且つ高精細な造形を可能とする光造形装置を提供することにある。本発明の他の目的は、従来に比べて小型化されており、露光手段に多数配列することができる露光ユニットを提供することにある。本発明の更に他の目的は、安価な光造形装置及び露光ユニットを提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明の第1の光造形装置は、光硬化性樹脂を光ビームで露光して3次元モデルを造形する光造形装置であって、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで露光する露光手段と、該露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させる移動手段と、を備えたことを特徴とする。

【0013】

第1の光造形装置では、露光手段が、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで露光するので、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を同時に硬化さ

せることができ、高速造形が可能となる。そして、移動手段がこの露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させるので、露光手段により同時に露光される所定領域の面積を制限して、空間分解能を向上させることができ、高精細な造形が可能となる。

【 0 0 1 4 】

この場合、露光手段は、光源と、該光源から出射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間変調素子と、を含んで構成することができる。この空間変調素子は、デジタル・マイクロミラー・デバイスで構成するのが好ましい。

【 0 0 1 5 】

また、本発明の第 2 の光造形装置は、光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形装置であって、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで露光する走査機能を備えた露光手段と、該露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させる移動手段と、を備えたことを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

第 2 の光造形装置では、露光手段が、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで露光するので、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を同時に硬化させることができ、高速造形が可能となる。そして、露光手段が走査機能を備えており、光硬化性樹脂の表面を走査すると共に、移動手段がこの露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させるので、露光手段により同時に露光される所定領域の面積を制限して、空間分解能を向上させることができ、高精細な造形が可能となる。

【 0 0 1 7 】

この場合、露光手段は、光源と、該光源から出射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間変調素子を第 1 の走査方向（例えば、主走査方向）に配列した空間変調素子アレイと、を含んで構成することができる。この空間変調素子アレイにより、光硬化性樹脂の表面が第 1 の走査方向に走査露光され

る。空間変調素子は、例えば、デジタル・マイクロミラー・デバイス、または回折格子光バルブ（GLV：Grating Light Valve）で構成することができる。なお、GLVの詳細については米国特許第5311360号に記載されている。

【0018】

更に、露光手段は、光源と、該光源から出射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間変調素子を第1の走査方向に配列した空間変調素子アレイと、該第1の走査方向と交差する第2の走査方向に走査する走査ミラーと、で構成することができる。この走査ミラー（可動ミラー、スキャナミラー）により、光硬化性樹脂の表面が第2の走査方向（例えば、副走査方向）に走査露光される。また、移動手段は、露光手段を、第1の走査方向及び第1の走査方向と交差する第2の走査方向に移動させる。

【0019】

上記のいずれの光造形装置においても、露光手段を複数設け、複数の露光手段の各々を光硬化性樹脂の表面に対し各々独立に相対移動可能とすることにより、更に造形の高速化を図ることができる。

【0020】

また、本発明の第3の光造形装置は、光硬化性樹脂を光ビームで露光して3次元モデルを造形する光造形装置であって、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで走査して露光する露光ユニットを、アレイ状に複数配列した露光手段を備えたことを特徴とする。

【0021】

第3の光造形装置では、露光手段にアレイ状に配列された複数の露光ユニットの各々が、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで走査して露光するので、高速且つ高精細な造形が可能となる。

【0022】

この光造形装置においては、露光ユニットは、光源と、該光源から出射された光ビームを集光する集光光学系と、該集光光学系により集光された光ビームを画

像データに応じて各画素毎に変調する偏向素子と、を含んで構成することができる。この露光ユニットは、画像データに応じて各画素毎に変調する偏向素子を用いることにより、従来の2枚組の可動ミラーを用いる場合に比べて小型化されている。このため露光手段に多数の露光ユニットを配列することが可能であり、更に高速且つ高精細な造形が可能となると共に、露光ユニット当りの露光領域が小さくなるので、ピン・クッション・エラーを略解消することができる。また、この露光ユニットは、光源、集光光学系、及び偏向素子がパッケージ内に封止されている形態とすることができる。偏向素子としては、例えば、2次元マイクロ・スキャナを用いることができる。

【 0 0 2 3 】

本発明の光造形装置は、光源として、窒化ガリウム系半導体レーザ、窒化ガリウム系半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザ、赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザまたはファイバアンプ、及び窒化ガリウム系半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザのいずれかを備えていることが好ましい。

【 0 0 2 4 】

また、窒化ガリウム系半導体レーザをファイバに結合した第1のレーザ光源、複数の窒化ガリウム系半導体レーザを合波光学系によりファイバに結合した第2のレーザ光源、該第1のレーザ光源のファイバおよび第2のレーザ光源のファイバの少なくとも一方を線状のレーザ光束が出射されるようにアレイ状に配列した線状レーザ光源、及び該第1のレーザ光源および第2のレーザ光源のファイバの少なくとも一方をスポット状のレーザ光束が出射されるようにバンドル状に配列した面状レーザ光源のいずれかのレーザ光源を用いてもよい。

【 0 0 2 5 】

これらのレーザ光源は、従来にない数10ワット級の高出力レーザ光源であって、連続駆動またはパルス駆動されて、紫外を含む所定波長領域（350nm～

420 nm、好ましくは405 nm) のレーザ光を出射する。これらのレーザ光源を使用することにより、高価なガスレーザやTHG固体レーザを使用する必要がなくなり且つ従来にない高出力が実現できるので、従来にない10倍以上の高速且つ高精細で安価な光造形装置及び露光ユニットを提供することができる。

【0026】

上記の光造形装置において、光源から出射されるパルス駆動された光ビームで光硬化性樹脂の表面を露光することにより、照射した光による熱の拡散が防止され、更に高速且つ高精細な露光が可能となる。したがって、パルス駆動されたレーザ光のパルス幅は短い方がよく、好ましくは、1 psec~100 nsec、より好ましくは、1 psec~300 psecが適している。以上に述べたレーザ光源は従来にない高出力化ができるだけでなく、ピコ秒オーダーの短パルス発振も可能であり、高速且つ高精細な露光が可能となる。紫外を含む所定波長域としては、350 nm~420 nmが好ましく、低コストな窒化ガリウム系半導体レーザを用いるという点では、最も高出力化が期待できる405 nmがより好ましい。

【0027】

具体的には、下記のレーザ光源を用いることができる。

【0028】

(1) 窒化ガリウム系半導体レーザ。例えば、ブロードエリア発光領域を有する窒化ガリウム系半導体レーザ、10 mm長バー型構造半導体レーザ、複数の発光点を有する窒化ガリウム系半導体レーザチップによる半導体レーザでもよい。また、複数の発光点を有する窒化ガリウム系半導体レーザチップを複数実装することにより構成される特願2001-273849号に開示されているアレイ型半導体レーザであれば、より高出力を得ることができる。

【0029】

(2) 窒化ガリウム系半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザ。例えば、希土類元素イオンとして少なくともPr³⁺が添加された固体レーザ結晶、該固体レーザ結晶を励起するレーザビームを出射する窒化ガリウム系半導体レ

ーザ、及び前記固体レーザー結晶を励起して得られたレーザービームを紫外領域の光に波長変換する光波長変換素子を備えた半導体レーザー励起固体レーザーである。

【0030】

Pr^{3+} が添加された固体レーザー結晶は、 GaN 系半導体レーザーにより励起されて、 $700 \sim 800 \text{ nm}$ の波長帯で効率良く発振する。つまり、例えば ${}^3\text{P}_0 \rightarrow {}^3\text{F}_4$ の遷移によって、 Pr^{3+} の発振ラインである波長 720 nm の赤外域の固体レーザービームを効率良く発振させるので、この固体レーザービームを光波長変換素子により第2高調波に波長変換すれば、波長 360 nm の高強度の紫外光を得ることができる。また、第3高調波を発生させる場合のように構成が複雑化することがなく、低コストの半導体レーザー励起固体レーザーが実現される。また、連続動作で容易に高効率の波長変換を行なうことができ、高出力特性が得ることができる。

【0031】

(3) 窒化ガリウム系半導体レーザーでファイバを励起して得られたレーザービームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザー。例えば、 Er^{3+} 、 Ho^{3+} 、 Dy^{3+} 、 Eu^{3+} 、 Sn^{3+} 、 Sm^{3+} 、及び Nd^{3+} のうちの少なくとも1つと Pr^{3+} とが共ドーピングされたコアを持つファイバ、該ファイバを励起するレーザービームを出射する窒化ガリウム系半導体レーザー、及び前記ファイバを励起して得られたレーザービームを紫外領域の光に波長変換する光波長変換素子を備えたファイバレーザーである。

【0032】

Er^{3+} 、 Ho^{3+} 、 Dy^{3+} 、 Eu^{3+} 、 Sn^{3+} 、 Sm^{3+} 、及び Nd^{3+} は、波長 $380 \sim 430 \text{ nm}$ に吸収帯があり、 GaN 系半導体レーザーによって励起され得る。そして、励起された電子を Pr^{3+} の励起準位（例えば ${}^3\text{P}_0 \rightarrow {}^3\text{P}_1$ ）にエネルギー移動し、下準位に落とすことにより、 Pr^{3+} の発振ラインである青、緑、赤色領域の発振が可能となる。波長 $380 \sim 430 \text{ nm}$ は GaN 系半導体レーザーが比較的発振しやすい波長帯であり、特に波長 $400 \sim 410 \text{ nm}$ は、現在提供されている GaN 系半導体レーザーの最大出力が得られる波長帯であるので、 Er^{3+} 、 Ho^{3+} 、 Dy^{3+} 、 Eu^{3+} 、 Sn^{3+} 、 Sm^{3+} 、及び Nd^{3+} を GaN 系半導体レーザーに

よって励起すれば、励起光の吸収量が大きくなり、高効率化および高出力化が達成される。また、光学部品が少なく、簡潔な構成となり、損失が低減され、温度安定領域も広がる。

【0033】

なお、励起光源であるGaN系半導体レーザとしては、単一縦、横モード型のものを使用できることは勿論、その他ブロードエリア型、マルチアレイ型、フェーズドアレイ型、MOPA型、あるいはGaN系半導体レーザを合波し、ファイバへ結合したファイバ型の高出力タイプのものを1個または複数個使用することもできる。また、ファイバレーザを励起光源とすることもできる。このように高出力な励起光源を用いることにより、更なる高出力、例えばW（ワット）クラスの高出力を得ることも可能である。また、(2)、(3)で述べた発光スペクトルの広い Pr^{3+} を用いたレーザは、モードロックにより容易にpsパルス駆動ができ、高繰り返し動作も可能になる。さらに、ps発振のため、高効率波長変換ができる。

【0034】

(4) 赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザまたはファイバアンプ。例えば、 Nd^{3+} ドープ、 Yb^{3+} ドープ、または Er^{3+} と Yb^{3+} とが共ドープされたコアを持つファイバ、該ファイバを励起する赤外領域のレーザビームを出射する半導体レーザ、及び前記ファイバを励起して得られたレーザビームを紫外領域の光に波長変換する光波長変換素子を備えたファイバレーザまたはファイバアンプである。光波長変換素子としては、THG（第3高調波発生）素子、FHG（第4高調波発生）素子を用いることができる。

【0035】

ファイバレーザを用いることで、従来の固体レーザに対して、励起光と発振ビームとのモードマッチングを向上させることができるので、高効率化することが可能になる。また、ファイバレーザ方式の場合においては、モードロック機構を従来の固体レーザに対して安定且つ低コストに構成することが可能であり、上記ファイバレーザの発振スペクトルがブロードな希土類元素を用いることで、短パ

ルス駆動 (p s e c) 及び高繰り返し動作 (1 0 0 M H z) が可能になる。その結果、波長変換による T H G 光、F H G 光を高効率にて得ることが可能になる。

【 0 0 3 6 】

また、ファイバアンプの場合においても、種光源に高繰り返し及び短パルス化が可能な L D 光を用いることによって、ファイバアンプにより高出力化することが可能になり、且つ波長変換による T H G 光、F H G 光を高効率にて得ることが可能になる。以上のことから、従来の固体レーザーに対して高出力且つ高繰り返しの紫外レーザー光を得ることが可能となる。その結果、高速露光に適した低コストな光源となる。

【 0 0 3 7 】

(5) 窒化ガリウム系半導体レーザーをファイバへ合波したレーザー。例えば、特願 2 0 0 1 - 2 7 3 8 7 0 号及び特願 2 0 0 1 - 2 7 3 8 7 1 号で開示されているように、複数の窒化ガリウム系半導体レーザーを合波光学系で合波結合することにより、ファイバから高出力を得ることができる。複数のビームを出射する半導体レーザーチップによる半導体レーザーを集光光学系によりファイバに合波したレーザーでもよい。また、ブロードエリア発光領域を有する窒化ガリウム系半導体レーザービームをファイバに合波してもよい。これらのファイバをアレイ状に配置して線状光源とすること、またはバンドル状に配置して面状光源とすることにより、さらに高出力を得ることができる。

【 0 0 3 8 】

(6) また、光源は、複数のレーザー光源、及び該複数のレーザー光源から出射されたレーザービームを合波する合波光学系を含んで構成されていてもよく、レーザー光源としては、上記 (1) ~ (5) のレーザー光源を用いることができる。合波光学系を用いて複数のレーザー光源から出射されたレーザービームを合波することにより、光源の高出力化を図ることができる。

【 0 0 3 9 】

特に、窒化ガリウム系半導体レーザーは、半導体レーザーであるため、低コストなシステムを構成することが可能である。また、窒化ガリウム系半導体レーザーは、転移の移動度が非常に小さく、熱伝導係数が非常に大きいため、赤外波長領域の

光源に比べ非常に高いCOD (Catastrophic Optical Damage) 値を有している。さらに、半導体レーザであるため、短周期で高いピークパワーを有するパルスによる繰り返し動作が可能であり、これにより、高速かつ高精細な露光を行うことができる。したがって、窒化ガリウム系半導体レーザを光源に使用することで、安価かつ高速・高精細な露光装置を提供することができる。

【0040】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

(第1の実施の形態)

本発明の第1の実施の形態に係る光造形装置は、図1に示すように、上方に開口した容器10を備えており、容器10内には液状の光硬化性樹脂12が収容されている。容器10に収容された光硬化性樹脂12の表面上方には、樹脂表面の複数画素を含む所定面積の領域16を光ビーム14で露光する露光ユニット18が配置されている。露光ユニット18は、XY位置決め機構20により、樹脂表面に対して水平方向(XY方向)に移動可能とされている。

【0041】

XY位置決め機構20は、露光ユニット18を固定する固定台20a、固定台20aをX方向に移動可能に支持する支持体20b、及び支持体20bを固定台20aと共にY方向に移動可能に支持する支持体20cから構成されている。そして、固定台20aが支持体20b上をX方向にスライドすることにより露光ユニット18がX方向に移動されて、露光ユニット18のX方向の位置が決められ、支持体20bが支持体20c上をY方向にスライドすることにより露光ユニット18がY方向に移動されて、露光ユニット18のY方向の位置が決められる。固定台20a及び支持体20bをスライドさせる機構としては、ラックアンドピニオン、ボールねじ等がある。

【0042】

露光ユニット18は、図1及び図2に示すように、例えば、約0.5Wのレーザ光を出射する光源22から、例えば、コア径10 μ m~200 μ mの光ファイバに結合し、この光ファイバをバンドル状に多数本(例えば、100本の)束ね

られた光ファイバ束 2 4 を介して入射された 5 0 W ($= 0.5 \text{ W} \times 100 \text{ 本}$) のレーザ光 1 4 を平行光化すると共に、その波形を整形して光軸に垂直な面内での強度分布を矩形状に変換する整形光学系としてのホモジナイザ光学系 2 6、2 次元状に配列されたマイクロミラーを備え、ホモジナイザ光学系 2 6 から入射された光ビームを例えば約 1 0 0 万画素の画像データに応じて各画素毎に変調するデジタル・マイクロミラー・デバイス (DMD) 2 8、DMD 2 8 から入射された光ビームを集光する集光レンズ 3 0、及び集光レンズ 3 0 を透過した光ビームを光硬化性樹脂 1 2 の表面の方向に反射する固定配置された反射ミラー 3 2 を備えている。

【 0 0 4 3 】

なお、X Y 位置決め機構 2 0、光源 2 2 及び DMD 2 8 は、これらを制御するコントローラ (図示せず) に接続されている。

【 0 0 4 4 】

光源 2 2 として、例えば、特願 2 0 0 1 - 2 7 3 8 7 0 号に記載されているマルチモード窒化ガリウム (G a N) 系半導体レーザをファイバに合波結合したレーザ光源を用いることができる。この光源 2 2 は、図 3 (A) に示すように、例えば 8 個のマルチモード窒化ガリウム (G a N) 系半導体レーザ LD 1、LD 2、LD 3、LD 4、LD 5、LD 6、LD 7 および LD 8 と、合波光学系 3 4 とから構成されている。G a N 系半導体レーザ LD 1 ~ LD 8 の発振波長は、発振可能な 3 9 0 ~ 4 1 0 n m の範囲内で、高出力発振可能な波長が選択され、例えば、3 9 5 n m、3 9 6 n m、3 9 7 n m、3 9 8 n m、3 9 9 n m、4 0 0 n m、4 0 1 n m、4 0 2 n m と 1 n m ずつ異なる波長とされている。なお、このときの各レーザの出力は全て共通の 1 0 0 m W である。

【 0 0 4 5 】

G a N 系半導体レーザ LD 1 ~ LD 8 の各々に対応して、各々から出射する発散光状態のレーザビーム B 1 ~ B 8 を平行光化するコリメートレンズ C 1 ~ C 8 が設けられている。

【 0 0 4 6 】

合波光学系 3 4 は、平行平板プリズム 3 6 と、その一方の表面 3 6 a に貼着さ

れた狭帯域バンドパスフィルタ F 3、F 5 および F 7 と、平行平板プリズム 3 6 の他方の表面 3 6 b に貼着された狭帯域バンドパスフィルタ F 2、F 4、F 6 および F 8 とから構成されている。これらの狭帯域バンドパスフィルタ F 2 ~ F 8 は各々、平行平板プリズム 3 6 の表面 3 6 a と粘着された粘着面から入射される光を例えば反射率 9 8 % で反射し、且つ粘着面と反対側から入射される所定波長域の光を例えば透過率 9 0 % で透過するように形成されている。図 4 には、これらの狭帯域バンドパスフィルタ F 2 ~ F 8 の透過スペクトルを、後述する狭帯域バンドパスフィルタ F 1 の透過スペクトルと併せて示してある。

【 0 0 4 7 】

G a N 系半導体レーザ L D 1 ~ L D 8 の各々は、各々から出射したレーザビーム B 1 ~ B 8 が狭帯域バンドパスフィルタ F 2 ~ F 8 に対して 5° の入射角で入射するように配設されており、各 G a N 系半導体レーザ L D 1 ~ L D 8 から出射した波長 3 9 5 n m、3 9 6 n m、3 9 7 n m、3 9 8 n m、3 9 9 n m、4 0 0 n m、4 0 1 n m、4 0 2 n m のレーザビーム B 1 ~ B 8 は、平行平板プリズム 3 6 に入射した後、狭帯域バンドパスフィルタ F 2 ~ F 8 で反射されながら 1 本に合波され、波長多重された高出力（例えば、約 0. 5 W）のレーザビーム B が平行平板プリズム 3 6 から出射し、レンズ C 9 によって集光され、コア径約 $10 \mu\text{m}$ 、 $\text{NA} = 0. 3$ のマルチモードファイバ 3 7 に結合される。このマルチモードファイバ 3 7 を図 3（B）に示すように、入射端面がバンドル状になるように配列し、例えば、1 0 0 本バンドル化することで 5 0 W の面状ビームを得る。

【 0 0 4 8 】

DMD 2 8 は、図 5（C）に示すように、S R A M セル（メモリセル）3 8 上に、微小ミラー（マイクロミラー）4 0 が支柱により支持されて配置されたものであり、多数の（数 1 0 万個から数 1 0 0 万個）の微小ミラーであるピクセルを格子状に配列して構成されたミラーデバイスである。各ピクセルには、最上部に支柱に支えられたマイクロミラー 4 0 が設けられており、マイクロミラー 4 0 の表面にはアルミニウムが蒸着されている。なお、マイクロミラー 4 0 の反射率は 9 0 % 以上である。また、マイクロミラー 4 0 の直下には、ヒンジ及びヨークを含む支柱を介して通常の半導体メモリの製造ラインで製造されるシリコンゲート

のCMOSのSRAMセル38が配置されており、全体はモノリシック（一体型）に構成されている。

【0049】

DMD28のSRAMセル38にデジタル信号が書き込まれると、支柱に支えられたマイクロミラー40が、対角線を中心としてDMD28が配置された基板側に対して $\pm\alpha$ 度（例えば ±10 度）の範囲で傾けられる。図6（A）は、マイクロミラー40がオン状態である $+\alpha$ 度に傾いた状態を示し、図6（B）は、マイクロミラー40がオフ状態である $-\alpha$ 度に傾いた状態を示す。従って、画像信号に応じて、DMD28の各ピクセルにおけるマイクロミラー40の傾きを、図5（C）に示すように制御することによって、DMD28に入射された光はそれぞれのマイクロミラー40の傾き方向へ反射される。なお、図5（C）には、DMD28の一部を拡大し、マイクロミラー40が $+\alpha$ 度又は $-\alpha$ 度に制御されている状態の一例を示す。それぞれのマイクロミラー40のオンオフ制御は、DMD28に接続されたコントローラ（図示せず）によって行われる。なお、オフ状態のマイクロミラー40により光ビームが反射される方向には、光吸収体（図示せず）が配置されている。

【0050】

次に、以上説明した光造形装置の動作について図1を参照して説明する。コントローラ（図示せず）によりXY位置決め機構20が駆動されて、露光ユニット18がX方向及びY方向に移動されて、露光ユニット18のX方向及びY方向の第1の位置が決定される。露光ユニット18の第1の位置が決定されると、光源22から光ビームが出射され、露光ユニット18の第1の位置に応じた所定面積の領域16の画像データがDMD28のコントローラ（図示せず）に送信される。DMD28のマイクロミラー40は、受信した画像データに応じてオンオフ制御される。

【0051】

光源22から出射された光ビーム14は、光ファイバ24を介してホモジナイザ光学系26に入射され、ホモジナイザ光学系26により平行光化されると共に、その波形が整形され光軸に垂直な面内での強度分布が矩形状に変換されて、D

MD 2 8 へ入射される。ホモジナイザ光学系 2 6 から入射された光ビーム 1 4 は、図 5 (C)、図 6 において、DMD 2 8 のマイクロミラー 4 0 がオン状態の場合には反射ミラー 3 2 の方向に、マイクロミラー 4 0 がオフ状態の場合には光吸収体（図示せず）の方向にそれぞれ反射される。即ち、DMD 2 8 へ入射された光ビーム 1 4 は、画像データに応じて各画素毎に変調される。反射ミラー 3 2 の方向に反射された光ビーム 1 4 は、集光レンズ 3 0 により集光され、集光された光ビーム 1 4 が反射ミラー 3 2 により光硬化性樹脂 1 2 の表面の方向に反射される。これにより、光硬化性樹脂 1 2 表面の所定面積の領域 1 6 内が光ビーム 1 4 で露光され、領域 1 6 内の光ビーム 1 4 で露光された部分が硬化する。

【 0 0 5 2 】

第 1 の位置での所定面積の領域 1 6 の露光が完了すると、X Y 位置決め機構 2 0 により、露光ユニット 1 8 が X 方向、Y 方向に移動されて、露光ユニット 1 8 の X 方向及び Y 方向の第 2 の位置が決定され、上記と同様にして、第 2 の位置に対応する所定面積の領域 1 6 が露光される。このように、露光ユニット 1 8 の移動と露光とを繰り返すことにより、光硬化性樹脂 1 2 の表面全体を露光することができる。

【 0 0 5 3 】

例えば、光硬化性樹脂 1 2 の表面上での光ビームのスポット径を $50\ \mu\text{m}$ とすると、100 万 (1000×1000) 画素の DMD 2 8 を備えた露光ユニット 1 8 を用いた場合には、面積 $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ の領域 1 6 を同時に露光することができる。この場合、光硬化性樹脂 1 2 表面の露光総面積が $500\text{ mm} \times 500\text{ mm}$ であるとする、露光ユニット 1 8 の位置をずらしながら 100 回に分けて露光することにより、表面全体を露光することができる。

【 0 0 5 4 】

以上の通り、本実施の形態に係る光造形装置では、露光ユニットは DMD を備えているので、所定面積の領域を同時に露光することができ、高速での造形が可能となる。また、露光ユニットは X Y 位置決め機構により移動可能とされており、露光ユニットの位置をずらしながら複数回に分けて全体を露光することができるので、1 つの露光ユニットで同時に露光する領域の面積を制限して、空間分解

能を向上させることができ、高精細な造形が可能となる。

【 0 0 5 5 】

また、複数の G a N 系半導体レーザと合波光学系とから構成された光源は、高出力が得られると同時に低コストであり、光造形装置全体の製造コストも低減することができる。特に、アルゴンレーザ等のガスレーザや固体レーザを使用して、いる従来の光造形装置と比較した場合には、安価で、メンテナンスが容易となり、装置全体が小型化する、という利点がある。

【 0 0 5 6 】

また、露光ユニットの外に光源を配置し、露光ユニットと光源とを光ファイバで結合したことにより、露光ユニットを軽量化することができ、X Y 位置決め機構に掛かる負荷が軽減されて、露光ユニットを高速移動させることができる。

【 0 0 5 7 】

なお、上記では、光源を複数の G a N 系半導体をファイバに合波結合したレーザ光源とする例について説明したが、光源を以下の (1) ~ (6) のいずれかで構成してもよい。

(1) 図 7 に示される、窒化ガリウム系半導体レーザ。好ましくは、図 1 9 及び図 2 0 に示される複数の窒化ガリウム系半導体レーザより構成されるアレイ型半導体レーザ。

(2) 図 8 に示される、窒化ガリウム系半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザ。

(3) 図 9 に示される、窒化ガリウム系半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザ。

(4) 図 1 0 に示される、赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザまたはファイバアンプ。

(5) 窒化ガリウム系半導体レーザをファイバに結合したレーザ光源、複数の窒化ガリウム系半導体レーザを合波光学系によりファイバに結合したレーザ光源、図 1 8 に示される以上のレーザ光源のファイバを線状のレーザ光束が出射される

ようにアレイ状に配列した線状レーザ光源、及び以上のレーザ光源のファイバをスポット状のレーザ光束が出射されるようにバンドル状に配列した面状レーザ光源。

(6) 上記(1)～(5)のいずれかのレーザ光源と合波光学系とで構成されたレーザ光源。

【0058】

図7に、上記(1)のブロードエリアの発光領域を有するGa_{1-z1}Al_{z1}N/GaN超格子クラッド層102(0.05<z₁<1)、n型またはi型Ga_{1-z2}Al_{z2}N(Siドープ)/In_{1-z3}Ga_{z3}N多重量子井戸活性層106(0.01<z₂<0.05、0.1<z₃<0.3)、p型Ga_{0.8}Al_{0.2}Nキャリアブロッキング層108、n型またはi型Ga_{1-z1}Al_{z1}N/GaN超格子クラッド層112、及びp型Ga_{1-z1}Al_{z1}N/GaN超格子クラッド層114が順次積層されている。p型Ga_{1-z1}Al_{z1}N/GaN超格子クラッド層114上には、幅50μm程度のストライプ領域を除いて絶縁膜116が形成され、ストライプ領域にはp側電極118が形成されている。また、n型Ga_{1-z1}Al_{z1}N/GaN超格子クラッド層100の裏面には、n側電極120が形成されている。なお、この半導体レーザの発振波長帯は440nmであり、発光領域幅が50μmであるので、得られる出力は1W程度であり、電気-光変換率は15%である。この半導体レーザをコア径500μmのファイバに10素子からのレーザ光を入力し、10W出力のファイバ励起モジュール122を得る。

【0059】

図8に、上記(2)の窒化ガリウム系半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザの一例を示す。この半導体レーザ励起固体レーザは、励起光としてのレーザビーム121を発する励起モジュール122、入射端が励起モジュール122に光結合されたファイバF、ファイバFから出射された発散光である上記レーザビーム121を集光する集光レンズ124、Pr³⁺がドープされた固体

レーザ媒質である LiYF_4 結晶（以下、 $\text{Pr}:\text{YLF}$ 結晶と称する）126、この $\text{Pr}:\text{YLF}$ 結晶126の光出射側に配置された共振器ミラー128、 $\text{Pr}:\text{YLF}$ 結晶126と共振器ミラー128との間に配置された光波長変換素子130、及びエタロン132を備えている。

【0060】

光波長変換素子130は、非線形光学材料である、 MgO がドーブされた LiNbO_3 結晶に周期ドメイン反転構造が設けられて構成されている。周期ドメイン反転構造の周期は、例えば、基本波波長を 720 nm 、第2高調波の波長を 360 nm とした場合、これらの波長に対して1次の周期となるように $1.65\text{ }\mu\text{m}$ とされている。また、波長選択素子としてのエタロン132は、固体レーザを単一縦モード発振させて低ノイズ化を実現する。

【0061】

半導体レーザ122としては、例えば、 InGaN 活性層を有し、波長 450 nm で発振するブロードエリア型のものを用いることができる。また、 $\text{Pr}:\text{YLF}$ 結晶126の光入射側の端面126aには、波長 450 nm の光は80%以上の透過率で良好に透過させる一方、 Pr^{3+} の1つの発振線である波長 720 nm に対して高反射率で、 720 nm 以外の Pr^{3+} の発振線 $400\sim 650\text{ nm}$ および 800 nm 以上に対しては低反射率のコーティングが施されている。また、 $\text{Pr}:\text{YLF}$ 結晶126の光出射側の端面126bには、波長 720 nm に対して低反射率で、その第2高調波波長 360 nm に対しては高反射率のコーティングが施されている。一方、共振器ミラー128のミラー面128aには、波長 720 nm の光に対して高反射率で、波長 360 nm の光を95%以上透過させ、上記 $490\sim 650\text{ nm}$ および 800 nm 以上の光に対しては低反射率のコーティングが施されている。

【0062】

この半導体レーザ励起固体レーザでは、半導体レーザ122から出射された波長 450 nm のレーザビーム121は、上記端面126aを透過して $\text{Pr}:\text{YLF}$ 結晶126に入射する。 $\text{Pr}:\text{YLF}$ 結晶126はこのレーザビーム121によって Pr^{3+} が励起されることにより、波長 720 nm の光を発する。このとき

の準位は $^3P_0 \rightarrow ^3F_4$ と考えられる。そして、Pr:YLF結晶126の端面126aと共振器ミラー128のミラー面128aとで構成される共振器によりレーザー発振が引き起こされて、波長720nmの固体レーザービーム123が得られる。このレーザービーム123は光波長変換素子130に入射して、波長が1/2すなわち360nmの第2高調波125に変換される。共振器ミラー128のミラー面128aには、前述の通りのコーティングが施されているので、共振器ミラー128からは、略、波長360nmの第2高調波125のみが出射する。

【0063】

図10に、上記(4)の赤外領域の光を出射する半導体レーザーでファイバを励起して得られたレーザービームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザーの一例を示す。このファイバレーザーは、THG(第3高調波発生)ファイバレーザーであり、波長1560nmのレーザービーム133を出射するパルス分布帰還形半導体レーザー(パルスDFBレーザー)134、発散光である上記レーザービーム133を平行光化するコリメートレンズ136、平行光となったレーザービーム133を集光する集光レンズ138、コリメートレンズ136と集光レンズ138との間に配置されたハーフミラー142、 Er^{3+} 及び Yb^{3+} が共ドーピングされたコアを持つファイバ140、ファイバ140から出射されたレーザービーム133を集光する集光レンズ154、及び集光されたレーザービーム133を入射させて波長変換波を得る波長変換部156を備えている。

【0064】

波長変換部156は、入射されたレーザービーム133を1/2の波長(780nm)のレーザービームに変換するSHG(第2高調波発生)素子158、及び入射されたレーザービーム133を1/4の波長(390nm)のレーザービームに変換するFHG(第4高調波発生)素子160から構成されている。SHG素子156及びTHG素子158は、非線形光学材料である、MgOがドーピングされた $LiNbO_3$ に周期ドメイン反転構造が設けられて構成されたバルク型波長変換結晶である。

【0065】

ハーフミラー142の反射光入射側には(図中、ハーフミラー142の下方)

には、波長 940 nm のレーザービーム 135 を出射する半導体レーザー 144 が配置されている。ハーフミラー 142 と半導体レーザー 144 との間にはコリメートレンズ 146 が配置されている。

【0066】

図 10 に示すように、ファイバ 140 において、レーザービーム 133 は、同じ波長 1560 nm の蛍光からエネルギーを受けて増幅され、ファイバ 140 の出射端面 140b から出射される。出射された波長 1560 nm のレーザービーム 133 は、集光レンズ 154 で集光され、波長変換部 156 に入射され、入射されたレーザービーム 133 は、波長変換部 156 において、第 4 高調波である波長 390 nm のレーザービーム 137 に変換されて出射される。なお、この FHG ファイバレーザーでは、5 W の出力を得ることができる。

【0067】

なお、波長変換部を、入射されたレーザービームを 1/2 の波長のレーザービームに変換する SHG（第 2 高調波発生）素子、及び入射されたレーザービームを 1/3 の波長のレーザービームに変換する THG（第 3 高調波発生）素子から構成することにより、THG（第 3 高調波発生）ファイバレーザーとすることができる。

【0068】

また、図 9 に、上記（3）の窒化ガリウム系半導体レーザーを用いたファイバー入力励起モジュールでファイバを励起して得られたレーザービームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザーの一例を示す。このファイバレーザーは、SHG（第 2 高調波発生）ファイバレーザーであり、波長 450 nm のレーザービーム 173 を出射する GaN 系半導体レーザーを用いたファイバー入力励起モジュール 174、発散光である上記レーザービーム 173 を平行光化するコリメートレンズ 176、平行光となったレーザービーム 173 を集光する集光レンズ 178、Pr³⁺ がドープされたコアを持つファイバ 180、ファイバ 180 から出射された波長 720 nm のレーザービーム 182 を集光する集光レンズ 194、及び集光されたレーザービーム 182 を入射させて 1/2 の波長（360 nm）のレーザービーム 177 に変換する SHG（第 2 高調波発生）素子 196 を備えている。SHG 素子 196 は、MgO がドープされた LiNbO₃ に周期ドメイン反転構造が

設けられて構成されたバルク型波長変換結晶である。ファイバ 1 8 0 の端面 1 8 0 a および 1 8 0 b には、以上述べた各波長の光に対して A R（無反射）となる特性のコートが施されている。

【 0 0 6 9 】

このファイバレーザでは、G a N 系半導体レーザを用いたファイバー入力励起モジュール 1 7 4 から出射された波長 4 5 0 n m のレーザビーム 1 7 3 は、集光レンズ 1 7 8 により集光されて、ファイバ 1 8 0 に入射する。入射したレーザビーム 1 7 3 により波長 7 2 0 n m の蛍光が発生し、ファイバ 1 8 0 の両端面 1 8 0 a、1 8 0 b 間で共振されて、波長 7 2 0 n m のレーザビーム 1 8 2 が出射端面 1 8 0 b から出射される。出射された波長 7 2 0 n m のレーザビーム 1 8 2 は、集光レンズ 1 9 4 で集光され、S H G 素子 1 9 6 に入射される。入射されたレーザビーム 1 8 2 は、S H G 素子 1 9 6 において、第 2 高調波である 3 6 0 n m のレーザビーム 1 7 7 に変換されて出射される。

【 0 0 7 0 】

光源として、紫外を含む所定波長領域の連続もしくはパルス駆動されたレーザ光を使用することができる。パルス駆動されたレーザ光を光源として使用する場合には、C O D レベルの高い窒化ガリウム系半導体レーザを駆動電流をパルス動作させパルス駆動してもよいし、固体レーザもしくはファイバレーザを繰り返し周波数の高い（例えば、1 0 0 M H z）モードロック動作によりパルス駆動してもよい。パルス駆動されたレーザ光を光源として使用することにより、熱拡散が防止されるため、高速かつ高精細な造形が可能となる。したがって、パルス駆動されたレーザ光のパルス幅は短い方がよく、好ましくは、1 p s e c ~ 1 0 0 n s e c、より好ましくは、1 p s e c ~ 3 0 0 p s e c が適している。特に、1 p s e c ~ 3 0 0 p s e c のパルス幅は、C O D の高い G a N - L D においては、容易に実現でき、更に本実施の形態で示した P r ³⁺、E r ³⁺、Y b ³⁺等の発光スペクトル幅の広い希土類元素を含んだ固体レーザ及びファイバレーザをモードロック動作させることで容易に実現できる。

【 0 0 7 1 】

（第 2 の実施の形態）

本発明の第 2 の実施の形態に係る光造形装置は、図 1 1 に示すように、複数の露光ユニット及び複数の光源を備えた以外は、第 1 の実施の形態に係る光造形装置と同じ構成であるため、同一部分には同じ符号を付して説明を省略する。

【 0 0 7 2 】

この光造形装置では、容器 1 0 に収容された光硬化性樹脂 1 2 の表面上方には、4 つの露光ユニット 1 8₁、1 8₂、1 8₃、及び 1 8₄ が配置されている。露光ユニット 1 8₁ ~ 1 8₄ の各々は、X Y 位置決め機構 2 0 により、樹脂表面に対して水平方向（X Y 方向）に相互に独立に移動させることができる。

【 0 0 7 3 】

X Y 位置決め機構 2 0 は、露光ユニット 1 8₁ ~ 1 8₄ の各々を固定する固定台 2 0 a₁ ~ 2 0 a₄、固定台 2 0 a₁、2 0 a₂ を X 方向に移動可能に支持する支持体 2 0 b₁、固定台 2 0 a₃、2 0 a₄ を X 方向に移動可能に支持する支持体 2 0 b₂、及び支持体 2 0 b₁ 及び支持体 2 0 b₂ を固定台 2 0 a₁ ~ 2 0 a₄ と共に Y 方向に移動可能に支持する支持体 2 0 c から構成されている。

【 0 0 7 4 】

露光ユニット 1 8₁ ~ 1 8₄ の各々は、対応する光源 2 2₁ ~ 2 2₄ から対応する光ファイバ 2 4₁ ~ 2 4₄ を介して入射された光ビーム 1 4₁ ~ 1 4₄ を各々平行光化すると共に、その波形を整形して光軸に垂直な面内での強度分布を矩形状に変換する整形光学系としてのホモジナイザ光学系 2 6₁ ~ 2 6₄、ホモジナイザ光学系 2 6₁ ~ 2 6₄ の各々から入射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調するデジタル・マイクロミラー・デバイス（DMD）2 8₁ ~ 2 8₄、DMD 2 8₁ ~ 2 8₄ の各々から入射された光ビームを集光する集光レンズ 3 0₁ ~ 3 0₄、及び集光レンズ 3 0₁ ~ 3 0₄ の各々を透過した光ビームを光硬化性樹脂 1 2 の表面の方向に反射する固定配置された反射ミラー 3 2₁ ~ 3 2₄ を備えている。

【 0 0 7 5 】

なお、X Y 位置決め機構 2 0、光源 2 2₁ ~ 2 2₄ 及び DMD 2 8₁ ~ 2 8₄ は、これらを制御するコントローラ（図示せず）に接続されている。

【 0 0 7 6 】

次に、以上説明した光造形装置の動作について説明する。コントローラ（図示せず）によりXY位置決め機構20が駆動され、露光ユニット18₁～18₄の各々がX方向及びY方向に移動されて、露光ユニット18₁～18₄各々のX方向及びY方向の第1の位置が決定される。露光ユニット18₁～18₄各々の第1の位置が決定されると、第1の実施の形態と同様にして、光硬化性樹脂12表面の所定面積の領域16₁～16₄内の各々が対応する光ビーム14₁～14₄で露光され、領域16₁～16₄内の光ビームで露光された部分が硬化する。

【0077】

第1の位置での所定面積の領域16₁～16₄の露光が完了すると、XY位置決め機構20により、露光ユニット18₁～18₄の各々がX方向及びY方向に移動されて、露光ユニット18₁～18₄各々のX方向及びY方向の第2の位置が決定され、上記と同様にして、第2の位置に対応する所定面積の領域16₁～16₄が露光される。このように、露光ユニット18₁～18₄の移動と露光とを繰り返すことにより、光硬化性樹脂12の表面全体を露光することができる。

【0078】

以上の通り、本実施の形態に係る光造形装置では、DMDを備えた露光ユニットを複数備えており、各々の露光ユニットについて所定面積の領域を同時に露光することができるので、第1の実施の形態と比べて更に高速での造形が可能となる。例えば、4つの露光ユニットを使用する場合には、1つの露光ユニットを使用する場合の4倍の速度で造形を行うことができる。

【0079】

また、複数の露光ユニットにより露光を行う場合には、露光領域を分散させて硬化させ、局部的な硬化収縮に起因する歪みの発生を抑制することができる外、1部の露光ユニットが故障しても他の露光ユニットを使用して光造形を続行することができ、使用安定性に優れている。

【0080】

なお、上記の第2の実施の形態では、露光ユニットを4つ設ける例について説明したが、露光ユニットの数は、光硬化性樹脂を収容する容器のサイズ、要求される造形速度、造形精度等に応じて適宜決定される。また、第1の実施の形態と

同様に、光源を前記（１）～（６）のいずれかで構成してもよい。

【 0 0 8 1 】

（第 3 の実施の形態）

本発明の第 3 の実施の形態に係る光造形装置は、図 1 2 に示すように、上方に開口した容器 1 0 を備えており、容器 1 0 内には光硬化性樹脂 1 2 が収容されている。容器 1 0 に収容された光硬化性樹脂 1 2 の表面上方には、露光ヘッド 4 2 が固定手段（図示せず）により固定されて配置されている。露光ヘッド 4 2 には、樹脂表面の複数画素を含む所定面積の領域 1 6 を光ビーム 1 4 で走査して露光する多数（図 1 2 では、1 0 0 個）の露光ユニット 1 8 A がアレイ状（1 0 列×1 0 行）に配列されている。

【 0 0 8 2 】

露光ユニット 1 8 A は、図 1 3 （A）及び（B）に示すように、光源としての G a N 系半導体レーザ 4 4、G a N 系半導体レーザ 4 4 から出射された光ビームを集光する例えば屈折率分布型レンズで構成された集光レンズ 4 6、及び集光レンズ 4 6 により集光された光ビームを 2 次元方向に反射すると共に光硬化性樹脂 1 2 の表面に結像させる 2 次元マイクロスキャナ 4 8 を備えている。

【 0 0 8 3 】

G a N 系半導体レーザ 4 4 及び集光レンズ 4 6 は、例えば銅またはシリコンからなるマウント 5 0、5 2 に各々保持された状態で、2 次元マイクロスキャナ 4 8 と共に、共通の基板 5 4 に取り付けられている。各構成要素を固定配置した基板 5 4 は、温度調節手段を構成するペルチェ素子 5 6 上に固定されて、光出射窓 5 8 を有するパッケージ 6 0 内に気密封止されている。パッケージ 6 0 内にはサーミスタ（図示せず）が取り付けられており、サーミスタが出力する温度検出信号に基づいて温度制御回路（図示せず）によりペルチェ素子 5 6 の駆動が制御されて、パッケージ 6 0 内の要素が全て共通の所定温度に制御される。なお、図 1 4 （A）及び（B）に示すように、ペルチェ素子 5 6 はパッケージ 6 0 の外側に設けられていてもよい。

【 0 0 8 4 】

2 次元マイクロスキャナ 4 8 は、基板 5 4 に固定された外枠 6 2、外枠 6 2 に

回転軸 6 4 の周りに回転可能に保持された内枠 6 6、及び内枠 6 6 に回転軸 6 8 の周りに回転可能に保持された反射ミラー 7 0 から構成されている。この反射ミラー 7 0 から反射された光ビームが、樹脂表面の領域 1 6 を X 方向及び Y 方向に走査するように、露光ユニット 1 8 A が露光ヘッド 4 2 に配置されている。

【 0 0 8 5 】

なお、各々の露光ユニット 1 8 A の G a N 系半導体レーザ 4 4 及び 2 次元マイクロスキャナ 4 8 は、これらを独立に制御するコントローラ（図示せず）に接続されている。

【 0 0 8 6 】

次に、以上説明した光造形装置の動作について説明する。コントローラ（図示せず）により各々の露光ユニット 1 8 A の G a N 系半導体レーザ 4 4 が独立に駆動されて、G a N 系半導体レーザ 4 4 から光ビームが出射され、露光ユニット 1 8 A の各々の配置位置に応じた所定面積の領域 1 6 の画像データが 2 次元マイクロスキャナ 4 8 のコントローラ（図示せず）に送信される。2 次元マイクロスキャナ 4 8 では、画像データに応じて、内枠 6 6 に保持された反射ミラー 7 0 が回転軸 6 8 の周りに回転して、X 方向に光ビーム 1 4 が走査されると共に、外枠 6 2 に保持された内枠 6 6 が反射ミラー 7 0 と共に回転軸 6 4 の周りに回転して、X 方向と直交する Y 方向に光ビーム 1 4 が走査されて、各々の露光ユニット 1 8 A に対応する所定面積の領域 1 6 が露光され、結果として、光硬化性樹脂 1 2 の表面全体が露光される。

【 0 0 8 7 】

例えば、光硬化性樹脂 1 2 の表面上での光ビームのスポット径を $50\ \mu\text{m}$ とすると、1 0 0 万（ 1000×1000 ）画素の 2 次元マイクロスキャナ 4 8 を備えた露光ユニット 1 8 A を用いた場合には、面積 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ の領域 1 6 を同時に露光することができる。この場合、光硬化性樹脂 1 2 の表面の露光総面積が $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ であるとする、1 0 0 個の露光ユニット 1 8 A を用いて同時に露光することにより、表面全体を短時間で露光することができる。即ち、表面の全体を 1 0 0 個の露光ユニット 1 8 A を用いて同時に露光する場合には、1 つの露光ユニット当りの露光領域は、表面全体を 1 個の露光ユニット 1

8 A を用いて露光する場合の 1 0 0 分の 1 となり、露光時間も 1 / 1 0 0 に短縮される。

【 0 0 8 8 】

以上の通り、本実施の形態に係る光造形装置では、露光ユニットは、画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで走査する 2 次元マイクロスキャナを用いることにより、従来の 2 枚組の可動ミラーを用いる場合に比べて小型化されている。このため、露光ヘッドに多数の露光ユニットを配列することが可能であり、多数の露光ユニットで所定面積の領域を並列に走査露光することができ、高速且つ高精細での造形が可能となる。また、多数の露光ユニットで全体を露光するので、1 つの露光ユニットで走査露光する領域の面積を制限して、ピン・クッション・エラーを、例えば 1 0 0 個の露光ユニットを用いた場合は約 1 / 1 0 に低減することができる。

【 0 0 8 9 】

また、G a N 系半導体レーザで構成された光源は、高出力が得られると同時に低コストであり、光造形装置全体の製造コストも低減することができる。特に、アルゴンレーザ等のガスレーザや固体レーザを使用している従来の光造形装置と比較すると、安価で、メンテナンスが容易となり、装置全体が小型化する、という利点がある。

【 0 0 9 0 】

なお、上記の第 3 の実施の形態では、露光ユニットを 1 0 0 個設ける例について説明したが、露光ユニットの数は、光硬化性樹脂を収容する容器のサイズ、要求される造形速度、造形精度等に応じて適宜決定される。露光ユニットの数は、2 5 ～ 1 0 0 個の範囲が好ましい。

【 0 0 9 1 】

また、上記第 3 の実施の形態では、光源を G a N 系半導体レーザで構成する例について説明したが、第 1 の実施の形態と同様に、光源を前記 (1) ～ (6) のいずれかで構成してもよい。

【 0 0 9 2 】

図 1 5 (A) 及び (B) に、前記 (2) の半導体レーザ励起固体レーザを用い

た場合の露光ユニットの構成例を示す。第 3 の実施の形態の露光ユニットと同じ構成部分に付いては同じ符号を付して説明を省略する。この露光ユニットでは、集光レンズ 4 6 及び 2 次元マイクロスキャナ 4 8 の間に、 Pr^{3+} がドーブされた固体レーザ媒質である LiYF_4 結晶（以下、 $\text{Pr}:\text{YLF}$ 結晶と称する）4 7 が配置されており、例えば銅からなるマウント 4 9 に保持された状態で、共通の基板 5 4 に取り付けられている。また、 $\text{Pr}:\text{YLF}$ 結晶 4 7 及び 2 次元マイクロスキャナ 4 8 の間には、波長変換素子 7 2、エタロン 7 4、及び共振器ミラー 7 6 がマウント（図示せず）に保持された状態でこの順に配列されている。また、ペルチェ素子 5 6 はパッケージ 6 0 の外側に設けられている。なお、光波長変換素子 7 2、半導体レーザ 4 4、及び共振器ミラー 7 6 の構成は、図 8 に示す半導体レーザ励起固体レーザと同様である。

【 0 0 9 3 】

この半導体レーザ励起固体レーザでは、半導体レーザ 4 4 から入射されたレーザビームにより $\text{Pr}:\text{YLF}$ 結晶 4 7 の Pr^{3+} が励起され、 $\text{Pr}:\text{YLF}$ 結晶 4 7 から所定波長のレーザビームが出射される。出射されたレーザビームは $\text{Pr}:\text{YLF}$ 結晶 4 7 の端面と共振器ミラー 7 6 のミラー面とで構成される共振器により共振されると共に、光波長変換素子 7 2 により波長変換されて、光ビーム 1 4 が出射される。

【 0 0 9 4 】

図 1 6 (A) 及び (B) に、図 9 に示す、窒化ガリウム系半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザを用いた場合の露光ユニットの構成例を示す。第 3 の実施の形態の露光ユニットと同じ構成部分に付いては同じ符号を付して説明を省略する。この露光ユニットは、ファイバレーザと、ファイバレーザから出射された光ビーム 1 7 7 を 2 次元方向に反射すると共に光硬化性樹脂 1 2 の表面に集光レンズ 1 9 4 を通過した光ビームを結像させる 2 次元マイクロスキャナ 4 8 と、を備えている。

【 0 0 9 5 】

ファイバレーザは、図 9 に示すように、波長 4 5 0 nm のレーザビーム 1 7 3

を出射する GaN 系半導体レーザ 1 7 4、発散光である上記レーザビーム 1 7 3 を平行光化するコリメートレンズ 1 7 6、平行光となったレーザビーム 1 7 3 を集光する集光レンズ 1 7 8、 Pr^{3+} がドープされたコアを持つファイバ 1 8 0、ファイバ 1 8 0 から出射された波長 7 2 0 nm のレーザビーム 1 8 2 を集光する集光レンズ 1 9 4、及び集光されたレーザビーム 1 8 2 を入射させて 1 / 2 の波長 (3 6 0 nm) のレーザビーム 1 7 7 に変換する SHG (第 2 高調波発生) 素子 1 9 6 を備えている。

【 0 0 9 6 】

パッケージ 6 0 の内側には、集光レンズ 1 9 4 及び SHG 素子 1 9 6 が配置されており、集光レンズ 1 9 4 及び SHG 素子 1 9 6 は、例えば銅からなるマウント 5 7、5 9 に各々保持された状態で、2 次元マイクロスキャナ 4 8 と共に、共通の基板 5 4 に取り付けられている。各構成要素を固定配置した基板 5 4 は、光出射窓 5 8 を有するパッケージ 6 0 内に気密封止されている。ファイバ 1 8 0 の出射側の端部は、パッケージ 6 0 の側壁を貫通して内部に導入されて、集光レンズ 5 3 と光結合されている。一方、図 1 6 においては図示は省略するが、図 9 に示すその他の構成要素は、パッケージ 6 0 の外側に設けられている。

【 0 0 9 7 】

(第 4 の実施の形態)

本発明の第 4 の実施の形態に係る光造形装置は、図 1 7 に示すように、露光ユニット 1 8 に代えて、樹脂表面の複数画素を含む線分 1 6 B を光ビーム 1 4 で同時に露光する露光ユニット 1 8 B を配置すると共に、光源 2 2 に特願 2 0 0 1 - 2 7 3 8 7 0 号及び特願 2 0 0 1 - 2 7 3 8 7 1 号において開示されているファイバアレイを用いた以外は、第 1 の実施の形態に係る光造形装置と同じ構成であるため、同一部分には同じ符号を付して説明を省略する。

【 0 0 9 8 】

露光ユニット 1 8 B は、図 1 7 に示すように、約 5 0 W の光源 2 2 からアレイ状に配列された光ファイバ 2 4 を介して入射された光ビーム 1 4 を照射するレンズ 4 0 0、4 0 1、レンズ 4 0 0 から入射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調するライン状に配列された光変調アレイ素子 4 0 2、光変調アレ

イ素子 4 0 2 から入射された光ビームを集光する集光レンズ 4 0 3、4 0 4、及び集光レンズ 4 0 4 を透過した光ビームを光硬化性樹脂 1 2 の表面の方向に反射する固定配置された反射ミラー 4 0 6 を備えている。

【 0 0 9 9 】

特願 2 0 0 1 - 2 7 3 8 7 0 号及び特願 2 0 0 1 - 2 7 3 8 7 1 号において開示されている光源 2 2 の詳細を図 1 8 に示す。光源 2 2 は、多数の半導体レーザーチップから出射されるビームを 1 本のファイバに合波する合波モジュール 5 2 0 とその合波モジュール 5 2 0 の各々に光結合され、かつ線状のレーザー光束が出射されるようにアレイ状に配列した光ファイバ 2 4 とにより構成される。各々の合波モジュール 5 2 0 は、図 1 9 及び図 2 0 に示されるように、（例えば、銅からなる）ヒートシンクブロック 5 1 0 上に配列固定された複数個（例えば、7 個）の横マルチモード窒化ガリウム系半導体レーザー 5 3 0 と、半導体レーザー各々に対向して設けられたコリメータレンズ 5 4 0 と、集光レンズ 5 5 0 とから構成され、一本のマルチモード光ファイバ 2 4 に光結合されている。

【 0 1 0 0 】

ヒートシンクブロック 5 1 0、半導体レーザー 5 3 0、コリメータレンズ 5 4 0、および集光レンズ 5 5 0 は、上方が開口した箱上のパッケージ 5 8 0 内に収容され、パッケージ 5 8 0 の開口がパッケージ蓋 5 8 1 によって閉じられることにより、パッケージ 5 8 0 およびパッケージ蓋 5 8 1 が構成する閉空間内に密閉保持される。

【 0 1 0 1 】

パッケージ 5 8 0 の底面にはベース板 5 9 0 が固定され、このベース板 5 9 0 の上面に前記ヒートシンクブロック 5 1 0 が取り付けられ、そしてこのヒートシンクブロック 5 1 0 にコリメータレンズ 5 4 0 を保持するコリメータレンズホルダ 5 4 1 が固定されている。さらに、ベース板 5 9 0 の上面には、集光レンズ 5 5 0 を保持する集光レンズホルダ 5 5 1 と、マルチモード光ファイバ 2 4 の入射端部を保持するファイバホルダ 5 5 2 が固定されている。また窒化ガリウム系半導体レーザー 5 3 0 に駆動電流を供給する配線類 5 5 5 は、パッケージ 5 8 0 の横壁面に形成された図示しない気密封止材料で封止される配線類 5 5 5 を通してパ

ッケージ外に引き出されている。

【0102】

コリメータレンズ540は、窒化ガリウム系半導体レーザ530の発光点の並び方向の開口径が該方向に直角な方向（図20（B）の上下方向）の開口径よりも小さく（すなわち、細長い形状で）形成されて、上記発光点の並び方向に密接配置されている。窒化ガリウム系半導体レーザ530としては、例えば、発光幅が $2\mu\text{m}$ で、活性層と平行な方向、直角な方向の拡がり角がそれぞれ 10° 、 30° の状態で作るレーザビームを発するものが用いられる。これらの窒化ガリウム系半導体レーザ530は、活性層と平行な方向に発光点が1列に並ぶように配設されている。

【0103】

したがって、各発光点から発せられたレーザビームは、上述のように細長い形状とされた各コリメータレンズ540に対して、拡がり角最大の方法が開口径大の方法と一致し、拡がり角最小の方法が開口径小の方法と一致する状態で入射することになる。つまり、細長い形状とされた各コリメータレンズ540は、入射するレーザビームの楕円径の断面形状に対応して、非有効部分を極力少なくして使用されることになる。

【0104】

例えば、本実施の形態では、コリメータレンズ540の水平方向および垂直方向の開口径1.1mm、4.6mm、焦点距離3mm、NA0.6、コリメータレンズ540に入射するレーザビームの水平方向および垂直方向のビーム径0.9mm、2.6mmが使用できる。また、コリメータレンズ540はピッチ1.25mmで配置される。

【0105】

集光レンズ550は、非球面円形レンズの光軸を含む領域を細長く切り取って、コリメータレンズ540の並び方向すなわち水平方向に長く、それと直角な方向に短い形状とされている。集光レンズ550は、例えば、焦点距離12.5mm、NA0.3であるものが使用できる。この集光レンズ550も、例えば、樹脂あるいは光学ガラスをモールド成形することによって形成される。

【 0 1 0 6 】

他方、マルチモード光ファイバ 2 4 は、例えば、三菱電線製のグレーデッドインデックス型を基本としたコア中心部がグレーデッドインデックス型で外周部がステップインデックス型であるコア径 $25\ \mu\text{m}$ 、 $\text{NA} 0.3$ 、端面コートの透過率 99.5% 以上のファイバが使用できる。すなわちコア径 $\times \text{NA}$ の値は $7.5\ \mu\text{m}$ となる。

【 0 1 0 7 】

レーザビームのマルチモード光ファイバ 2 4 への結合効率が 0.9 、窒化ガリウム系半導体レーザ 5 3 0 の出力 $100\ \text{mW}$ 、半導体レーザ 5 3 0 の個数 7 の場合、出力 $630\ \text{mW}$ ($= 100\ \text{mW} \times 0.9 \times 7$) の合波レーザビームが得られることになる。

【 0 1 0 8 】

窒化ガリウム系半導体レーザ 5 3 0 は、発振波長は $405 \pm 10\ \text{nm}$ であり、最大出力は $100\ \text{mW}$ である。これらの窒化ガリウム系半導体レーザ 5 3 0 から発散光状態で出射したレーザビームは、各々対向するコリメータレンズ 5 4 0 によって平行光化される。平行光とされたレーザビームは、集光レンズ 5 5 0 によって集光され、マルチモード光ファイバ 2 4 のコアの入射端面上で収束する。

【 0 1 0 9 】

コリメータレンズ 5 4 0 および集光レンズ 5 5 0 によって集光光学系が構成され、それとマルチモード光ファイバ 2 4 とによって合波光学系が構成されている。すなわち、集光レンズ 2 0 によって上述のように集光されたレーザビームがこのマルチモード光ファイバ 2 4 のコアに入射してそこを伝搬し、1 本のレーザビームに合波されてマルチモード光ファイバ 2 4 から出射する。なおマルチモード光ファイバ 2 4 としては、例えば、ステップインデックス型のものや微小コアで高い NA のものを使用する場合は、グレーデッドインデックス型のもの及びその複合型のファイバが適用可能である。

【 0 1 1 0 】

なお、各々の半導体レーザ 5 3 0 に対応する個別のコリメータレンズ 5 4 0 の代替として、半導体レーザ 5 3 0 の個数に対応する個数のレンズ要素を有するコ

リメータレンズアレイが使用されてもよい。個別のコリメータレンズを使用する場合もそれらを互いに密接配置して、窒化ガリウム系半導体レーザ 5 3 0 の配置ピッチを小さくし、空間利用効率を高めることができるが、コリメータレンズアレイを用いることにより、その効果をより一層高めることが可能である。また、そのようにして空間利用効率が高められると、合波本数を増やすことができ、更に窒化ガリウム系半導体レーザ 5 3 0、集光光学系およびマルチモード光ファイバ 2 4 の組立位置精度に比較的余裕を持たせることができるという効果も得られる。

【 0 1 1 1 】

コリメータレンズアレイの各レンズ要素、もしくは個別のコリメータレンズ 5 4 0 の焦点距離および開口数を f_1 、 NA_1 、集光レンズ 5 5 0 の焦点距離を f_2 、マルチモード光ファイバ 2 4 の開口数を NA_2 、空間利用効率を η とする。なお、この空間利用効率 η は、レーザビームが使用する空間中でレーザビームの光路が占める空間の割合で規定されるものであり、レーザビームの光路が互いに密接する状態が $\eta = 1$ である。

【 0 1 1 2 】

上記の条件下では、レンズ径の倍率 a 、すなわち、窒化ガリウム系半導体レーザの各発光点におけるビームスポット径に対するマルチモードファイバ 2 4 のコア端面上におけるビームスポット径の比は式 (1) で与えられる。なお N は合波本数である。

【 0 1 1 3 】

【数 1】

$$a = \frac{f_2}{f_1} = \frac{NA_1}{\left(\frac{NA_2}{N} \times \eta\right)} = \frac{NA_1}{NA_2} \times \frac{N}{\eta} \quad (1)$$

【 0 1 1 4 】

式 (1) から明らかな通り、空間利用効率 η がより大きいほど倍率 a は低下する。そして倍率 a が小さいほど、窒化ガリウム系半導体レーザ、集光光学系およ

びマルチモード光ファイバ 2 4 の相対位置関係がずれた際に、レーザビームがマルチモード光ファイバ 2 4 のコア端面上で動く距離が小さくなる。そこで、窒化ガリウム系半導体レーザ、集光光学系およびマルチモード光ファイバ 2 4 の組立位置精度を比較的緩くしておいても、レーザビームをマルチモード光ファイバ 2 4 のコアに正常に入射させることが可能になる。また、 η を 1 に近づけると a を低下することができ、合波本数 N をその分増加させることができるので、合波本数 N を増加させても位置ずれ許容度が大きいまま高出力化できる。

【 0 1 1 5 】

長尺状に構成されている光変調アレイ素子 4 0 2 に光変調アレイ素子 4 0 2 の長さ方向に延びた線状のレーザ光を出射するように、多数の半導体レーザチップ 5 2 0 各々に対して 1 本ずつ設けられたファイバ 2 4 は光変調アレイ素子 4 0 2 の長さ方向に沿って配列されてアレイ状に構成されている。

【 0 1 1 6 】

上述されたように、窒化ガリウム系半導体レーザ 5 3 0 から出射されたレーザ光は、各々対応するコリメータレンズ 5 4 0 でコリメートされた後、光ファイバ 2 4 に入射される。各半導体レーザチップ 5 2 0 に 7 個の半導体レーザ 5 3 0 が備えられている場合、7 本のコリメートされたレーザ光が、非球面ガラスモールドレンズ 5 5 0 により、ファイバ 2 4 へ光結合される。このコア径 $25\mu\text{m}$ 、 $NA=0.3$ 、出力 0.5W のファイバを 100 本設ければ、線状に配置されたファイバからは、 50W ($=0.5\text{W}\times 100\text{本}$) の線状の超高出力ビームが出射される。線状ビームは照射レンズ系により照射され、長尺状の光変調アレイ素子 4 0 2 に入射する。

【 0 1 1 7 】

上記記載されたファイバを並べた 50W ($=0.5\text{W}\times 100\text{本}$) の線状の高出力ビームの代替として、図 2 1 (A) に示す半導体レーザチップ 5 6 0 を図 2 1 (B) に示すように所定方向に沿って配列した、特願 2 0 0 1 - 2 7 3 8 4 9 号で開示されているアレイ型半導体レーザが使用されてもよい。光源 2 2 は、複数の半導体レーザチップ 5 6 0 により構成される。各々の半導体レーザチップ 5 6 0 は、発光点 5 7 0 を複数個有する。発光点 5 7 0 の出力が 0.1W 、発光点

数が5であれば、半導体レーザチップ560各々の出力は0.5W (= 0.1W × 5個)であり、光源22が34個の半導体レーザチップ560により構成されていれば、17W (= 0.5W × 34個)の高出力アレイビームを出射することができる。この17Wのアレイビームを3素子並べることで、ファイバを並べたビームと同様の50W (17W × 3素子)級の線状の高出力ビームが得られる。

【0118】

露光ユニット18Bは、図17に示すように、上記記載した光源22から線状に配列された複数のファイバ24を介して入射された線状光ビーム14を、レンズ400、401で光変調素子アレイ402上にライン状に照射し、光変調素子アレイ402によって画像データに応じて各画素毎に変調されたビームをレンズ403、404によって光硬化性樹脂12の表面に反射ミラー406を通してY軸方向にライン状に結像する。

【0119】

次に、図22及び図23を参照して、光変調アレイ素子402として用いるGLV素子の構成及び動作原理を説明する。GLV素子201は、例えば米国特許第5,311,360号に開示されているように、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) タイプの空間変調素子 (SLM; Spatial Light Modulator) であり、図22に示すように、グレーティングを一方向に複数配列して構成されている。

【0120】

図22に示すように、GLV素子201のシリコン等からなる基板203上には、可動格子となるリボン状のマイクロブリッジ209が多数個 (例えば、6480個) 設けられている。複数のマイクロブリッジ209が平行に配列されることで複数のスリット211が形成されている。マイクロブリッジ209は、基板203から所定間隔離間されている。

【0121】

マイクロブリッジ209は、図23に示すように、基板203に対向する下面側がSiNx等からなる可撓性梁209aで構成され、表面側がアルミニウム (又は、金、銀、銅等) の単層金属膜からなる反射電極膜209bで構成されてい

る。なお、反射電極膜 2 0 9 b を金、銀、銅等により形成することで、使用する光の波長に応じて反射率をより向上させることができる。上記基板 2 0 3、マイクロブリッジ 2 0 9、及び図示しないコントローラは可動格子移動手段に相当する。

【0 1 2 2】

この GLV 素子 2 0 1 は、マイクロブリッジ 2 0 9 と基板 2 0 3 との間に印加される電圧のオン／オフで駆動制御される。マイクロブリッジ 2 0 9 と基板 2 0 3 との間に印加する電圧をオンにすると、静電誘導された電荷によってマイクロブリッジ 2 0 9 と基板 2 0 3 との間に静電吸引力が発生し、マイクロブリッジ 2 0 9 が基板 2 0 3 側に撓む。そして、印加電圧をオフにすると、撓みが解消し、マイクロブリッジ 2 0 9 は弾性復帰により基板 2 0 3 から離間する。通常、1 画素は複数（例えば、6 個）のマイクロブリッジ 2 0 9 で構成され、電圧を印加するマイクロブリッジ 2 0 9 を交互に配置することで、電圧の印加により回折格子を生成し、光の変調を行なうものである。

【0 1 2 3】

マイクロブリッジ 2 0 9 に電圧を印加しない場合には、マイクロブリッジ 2 0 9 の反射面の高さが総て揃い、反射光には光路差が生じず正反射される。一方、1 つおきのマイクロブリッジ 2 0 9 に電圧を印加した場合には、前述した原理によりマイクロブリッジ 2 0 9 の中央部が撓み、交互に段差のある反射面となる。この反射面にレーザ光を入射すると、撓みのないマイクロブリッジ 2 0 9 で反射された光には光路差が生じ、光の回折現象が発生する。1 次回折光の強度 I_{1st} は光路差に依存し、下記の式で表すことができる。この場合、光路差として $\lambda/2$ となる場合に最も回折光の強度が高くなる。

【0 1 2 4】

【数 2】

$$I_{1st} = I_{max} \sin \left(\frac{2\pi d}{\lambda} \right)$$

【0 1 2 5】

次に、以上説明した光造形装置の動作について説明する。コントローラ（図示せず）によりXY位置決め機構20が駆動されて、露光ユニット18BがX方向及びY方向に移動されて、露光ユニット18BのX方向及びY方向の初期位置が決定される。露光ユニット18Bの初期位置が決定されると、光源22から光ビームが出射され、露光ユニット18Bの初期位置に応じた複数画素を含む線分16Bの画像データが光変調アレイ素子402のコントローラ（図示せず）に送信される。光変調アレイ素子402の各GLV素子201は、上記の通り、受信した画像データに応じてオンオフ制御される。

【0126】

光源22から出射された光ビーム14は、光変調アレイ素子に対して平行に線状に配置された光ファイバ24、及びレンズ400、401を介して、光変調素子アレイ402上にライン状に照射され、光変調素子アレイ402によって画像データに応じて各画素毎に変調されたビームがレンズ403、404によって光硬化性樹脂12の表面に反射ミラー406を通してY軸方向にライン状に結像される。これにより、光硬化性樹脂表面の線分16Bが線状の光ビーム14で同時に露光され、露光された部分が硬化する。

【0127】

初期位置での線分16Bの露光が完了すると、XY位置決め機構20により、露光ユニット18がX方向に1ステップ移動されて、次の線分が露光される。この通りX方向への移動と露光とが繰り返され、光硬化性樹脂12の所定面積の領域が露光される。X方向に沿って所定面積の領域の露光が完了すると、XY位置決め機構20により露光ユニット18がY方向に1ステップ移動され、X方向への移動と露光とが繰り返されて、光硬化性樹脂12の所定面積の領域が露光される。

【0128】

例えば、光硬化性樹脂12の表面上での光ビームのスポット径（分解能）を50 μ mとすると、1000画素の光変調アレイ素子402を備えた露光ユニット18Bを用いた場合には、長さ50mmの線分16Bを同時に露光することができる。この場合、光硬化性樹脂12表面の露光総面積が500mm \times 500mm

であるとする、露光ユニット 1 8 B の位置を移動させながら露光することにより、分解能を低下させることなく表面全体を露光することができる。

【 0 1 2 9 】

以上の通り、本実施の形態に係る光造形装置では、露光ユニットは G L V 素子からなる光変調素子アレイを備えているので、所定長さの線分を同時に露光することができ、高速での造形が可能となる。また、露光ユニットは X Y 位置決め機構により移動可能とされており、露光ユニットの位置をずらしながら複数回に分けて全体を露光することができるので、1 つの露光ユニットで同時に露光する領域を制限して、空間分解能を向上させることができ、高精細な造形が可能となる。

【 0 1 3 0 】

また、複数の G a N 系半導体レーザと合波光学系とから構成された光源は、高出力が得られると同時に低コストであり、光造形装置全体の製造コストも低減することができる。特に、アルゴンレーザ等のガスレーザや固体レーザを使用している従来の光造形装置と比較した場合には、安価で、メンテナンスが容易となり、装置全体が小型化する、という利点がある。

【 0 1 3 1 】

また、露光ユニットの外に光源を配置し、露光ユニットと光源とを光ファイバで結合したことにより、露光ユニットを軽量化することができ、X Y 位置決め機構に掛かる負荷が軽減されて、露光ユニットを高速移動させることができる。

【 0 1 3 2 】

なお、光源は、第 1 の実施の形態と同様に、前記 (1) ～ (6) のいずれかの光源で構成することができる。

【 0 1 3 3 】

以上に説明した第 4 の実施の形態では、光変調アレイ素子に G L V を用い、集光レンズを透過した光ビームを光硬化性樹脂の表面方向に反射するミラーに固定ミラーを用いているが、本発明はこれに限定されるものではなく、光変調アレイ素子として図 5 (A) または (B) に示されるように、マイクロミラー 2 4 0 を 1 列またな複数列アレイ状に配列した DMD 素子を使用してもよい。

【 0 1 3 4 】

なお、光変調アレイ素子の構成は厳密な一次元（すなわち、一方の次元の素子の数が1個）の線状に限定されず、一方の次元の素子の数が他方の次元の素子の数より十分に小さい線状の構成であればよい。光変調アレイ素子を面状あるいは線状に構成することにより、光硬化性樹脂の複数画素に対応する領域を一度に露光することができるようになり、処理を高速化することができる。しかしながら、光変調アレイ素子を面状に構成すると、一度に処理される領域間の境界が線を構成する。これに対し、光変調アレイ素子が線状に構成されていれば、一度に処理される領域の境界は点となる。このような境界に対しては、各処理毎の整合を行うためにアラインメント処理が行われなければならない、境界が線となる場合に比べ、点となる場合の方がアラインメント処理の対象となる領域が減少するために処理が容易となる。したがって、光変調アレイ素子を面状ではなく線状に構成することにより、露光処理を高速化することができ、かつ、アラインメント処理を容易に行うことができる。

【 0 1 3 5 】

第4の実施の形態では、光源として連続駆動された窒化ガリウム系半導体レーザを使用した。パルス駆動された窒化ガリウム系半導体レーザを使用してもよい。CODレベルが非常に高い窒化ガリウム系半導体レーザをパルス駆動することによって、より高速・高精細な積層造形を得ることができる。パルス幅は、短い方がよく、好ましくは、 $1\text{ psec} \sim 100\text{ nsec}$ 、より好ましくは、 $1\text{ psec} \sim 300\text{ psec}$ とすることが好ましい。

【 0 1 3 6 】

また、第4の実施の形態では、図17に示すように、ファイバ24をアレイ状に配設しているが、本発明はこれに限定されず、ファイバ24をバンドル状に配設して面状のレーザ光を発生するようにしてもよい。この場合、光変調アレイ素子402は面状に構成されているものが使用されることが好ましい。

【 0 1 3 7 】

また、図24に示すように、複数の露光ユニット及び複数の光源を備える構成とすることもできる。なお、露光ユニット18₁～18₄に代えて露光ユニット1

8 B₁ ~ 1 8 B₄を配置したこと、及び図 1 9、図 2 0 に示す光源を使用したこと以外は、第 2 の実施の形態と同様の構成であるため、同一部分には同じ符号を付して説明を省略する。この光造形装置では、光変調素子アレイを備えた露光ユニットを複数（図では 4 つ）備えており、各々の露光ユニットについて所定領域を同時に露光することができるので、更に高速での造形が可能となる。例えば、4 つの露光ユニットを使用する場合には、1 つの露光ユニットを使用する場合の 4 倍の速度で造形を行うことができる。また、複数の露光ユニットにより露光を行う場合には、露光領域を分散させて硬化させ、局所的な硬化収縮に起因する歪みの発生を抑制することができる外、1 部の露光ユニットが故障しても他の露光ユニットを使用して光造形を続行することができ、使用安定性に優れている。

【 0 1 3 8 】

（第 5 の実施の形態）

本発明の第 5 の実施の形態に係る光造形装置は、図 2 5 に示すように、露光ユニット 1 8 B に代えて、所定長さの線分を光ビーム 1 4 で同時に露光すると共に可動ミラーにより線分と直交する方向（図では、X 方向）に走査して、樹脂表面の複数画素を含む所定面積の領域 1 6 C を光ビーム 1 4 で露光する露光ユニット 1 8 C を配置した以外は、第 4 の実施の形態に係る光造形装置と同じ構成であるため、同一部分には同じ符号を付して説明を省略する。

【 0 1 3 9 】

露光ユニット 1 8 C は、図 2 5 に示すように、上記約 5 0 W の光源 2 2 からアレイ状に配列された光ファイバ 2 4 を介して入射されたライン状の光ビーム 1 4 を照射するレンズ 4 0 0、4 0 1、レンズ 4 0 0、4 0 1 から入射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調するライン状に配列された光変調アレイ素子 4 0 2、光変調アレイ素子 4 0 2 から入射された光ビームを光硬化性樹脂 1 2 の表面上に集光する集光レンズ 4 0 3、4 0 4、及び集光レンズ 4 0 3、4 0 4 を透過した光ビームを光硬化性樹脂 1 2 の表面の方向に反射すると共に矢印 A 方向に回転可能に配置された可動反射ミラー 4 0 8 C を備えている。なお、可動反射ミラー 4 0 8 C には取り付けられた回転軸 4 1 0 は、軸受け（図示せず）に回転可能に支持されている。

【 0 1 4 0 】

次に、以上説明した光造形装置の動作について説明する。第 4 の実施の形態と同様にして、第 1 の位置での露光ユニット 1 8 C による所定長さの線分の露光が完了すると、X Y 位置決め機構 2 0 により、露光ユニット 1 8 C の可動反射ミラー 4 0 8 C が X 方向に 1 ステップ回転されて、次の線分が露光される。この通り X 方向へのミラーの回転と露光とが繰り返され、光硬化性樹脂 1 2 の所定面積の領域 1 6 C が露光される。

【 0 1 4 1 】

第 1 の位置での所定面積の領域 1 6 C の露光が完了すると、X Y 位置決め機構 2 0 により、露光ユニット 1 8 C が X 方向、Y 方向に移動されて、露光ユニット 1 8 C の X 方向及び Y 方向の第 2 の位置が決定され、上記と同様にして、第 2 の位置に対応する所定面積の領域 1 6 C が露光される。このように、露光ユニット 1 8 の移動と露光とを繰り返すことにより、光硬化性樹脂 1 2 の表面全体を露光することができる。

【 0 1 4 2 】

以上の通り、本実施の形態に係る光造形装置では、露光ユニットは G L V 素子からなる光変調素子アレイを備えているので、所定長さの線分を同時に露光することができる。また、所定長さの線分を同時に露光すると共に、可動反射ミラーにより線分と直交する方向に走査露光するので、第 4 の実施の形態と比較して、より高速での造形が可能となる。また、露光ユニットは X Y 位置決め機構により移動可能とされており、露光ユニットの位置をずらしながら複数回に分けて全体を露光することができるので、1 つの露光ユニットで同時に露光する領域を制限して、空間分解能を向上させることができ、高精細な造形が可能となる。

【 0 1 4 3 】

また、複数の G a N 系半導体レーザと合波光学系とから構成された光源は、高出力が得られると同時に低コストであり、光造形装置全体の製造コストも低減することができる。特に、アルゴンレーザ等のガスレーザを使用している従来の光造形装置と比較した場合には、安価で、メンテナンスが容易となり、装置全体が小型化する、という利点がある。

【 0 1 4 4 】

また、露光ユニットの外に光源を配置し、露光ユニットと光源とを光ファイバで結合したことにより、露光ユニットを軽量化することができ、X Y 位置決め機構に掛かる負荷が軽減されて、露光ユニットを高速移動させることができる。

【 0 1 4 5 】

なお、光源は、第 1 の実施の形態と同様に、前記 (1) ～ (6) のいずれかの光源で構成することができる。

【 0 1 4 6 】

また、図 2 6 に示すように、複数の露光ユニット及び複数の光源を備える構成とすることもできる。なお、露光ユニット $18_1 \sim 18_4$ に代えて露光ユニット $18C_1 \sim 18C_4$ を配置した以外は、第 2 の実施の形態と同様の構成であるため、同一部分には同じ符号を付して説明を省略する。この光造形装置では、光変調素子アレイを備えた露光ユニットを複数（図では 4 つ）備えており、各々の露光ユニットについて所定面積の領域を同時に露光することができるので、更に高速での造形が可能となる。例えば、4 つの露光ユニットを使用する場合には、1 つの露光ユニットを使用する場合の 4 倍の速度で造形を行うことができる。また、複数の露光ユニットにより露光を行う場合には、露光領域を分散させて硬化させ、局所的な硬化収縮に起因する歪みの発生を抑制することができる外、1 部の露光ユニットが故障しても他の露光ユニットを使用して光造形を続行することができる、使用安定性に優れている。

【 0 1 4 7 】

上記の第 1、2、4、及び第 5 の実施の形態では、X Y 位置決め機構により露光ユニットを X 方向、Y 方向に移動させる例について説明したが、光硬化性樹脂を収納した容器を露光ユニットに対して移動させてもよい。

【 0 1 4 8 】

また、上記の第 1 ～ 第 5 の実施の形態において、露光ユニットから照射される光ビームのスポット径及び出力光量を適宜変更することができる。例えば、低出力光量で露光することにより高精細な造形を行うこともできるし、高出力光量で露光することにより高速造形を行うこともできる。

【 0 1 4 9 】

上記の第 4 及び第 5 の実施の形態では、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) タイプの空間変調素子 (SLM; Spacial Light Modulator) の 1 種である反射回折格子型の GLV (Grating Light Valve) 素子をアレイ化した光変調アレイ素子を用いて光ビームを変調する例について説明したが、他の変調手段により光ビームを変調することもできる。なお、MEMS とは、IC 製造プロセスを基盤としたマイクロマシニング技術によるマイクロサイズのセンサ、アクチュエータ、そして制御回路を集積化した微細システムの総称であり、MEMS タイプの空間変調素子とは、静電気力を利用した電気機械動作により駆動される空間変調素子を意味している。

【 0 1 5 0 】

例えば、レーザ光源が連続駆動され且つ光出力が小さい用途の場合には、電気光学効果により透過光を変調する光学素子 (PLZT 素子) や液晶光シャッタ (FLC) 等、MEMS タイプ以外の空間変調素子を用いてもよい。また、レーザ光源が高出力である場合またはパルス駆動される場合には、デジタル・マイクロミラー・デバイス (DMD)、全反射型の空間変調素子、及び干渉型の空間変調素子等、他の MEMS タイプの空間変調素子を用いてもよい。

【 0 1 5 1 】

干渉型の空間変調素子としては、ファブリペロー干渉を利用した光変調素子 (干渉型光シャッタ) が挙げられる。図 2 7 及び図 2 8 において、干渉型光シャッタは、入射光に対し所定角度を持って配置される一方の電極 3 0 3 と、一方の電極 3 0 3 に少なくとも空隙を挟んで対向する他方の電極 3 0 4 と、一方の電極 3 0 3 及び他方の電極間 3 0 4 に介装されて透明な可撓薄膜 3 0 7 とを具備し、一方の電極 3 0 3 及び他方の電極 3 0 4 間に電圧を印加することで発生したクーロン力によって可撓薄膜 3 0 7 を撓ませ該可撓薄膜 3 0 7 を透過する光を変調して出射するものである。

【 0 1 5 2 】

即ち、一方の電極 3 0 3 は透明基板 3 0 1 に組み込まれて構成され、該一方の電極 3 0 3 の上側には誘電体多層膜ミラー 3 0 5 が設けられている。また透明基

板 3 0 1 上には左右に支柱 3 0 2 が設けられており、該支柱 3 0 2 の上端面には可撓薄膜 3 0 7 が設けられている。可撓薄膜 3 0 7 の誘電体多層膜ミラー 3 0 5 に対向する下面にはもう 1 つの誘電体多層膜ミラー 3 0 6 が設けられている。従って、上下 2 つの誘電体多層膜ミラー 3 0 5、3 0 6 間には空隙 3 0 9 が形成されている。さらに可撓薄膜 3 0 7 の上面には一方の電極 3 0 3 と対向するように他方の電極 3 0 4 が設けられている。

【 0 1 5 3 】

このように構成される干渉型光シャッタでは、図 2 9 (A) の状態に示すように、一方の電極 3 0 3 と他方の電極 3 0 4 との間の電源電圧 V_{gs} の供給を OFF としたとき、上下 2 つの誘電体多層膜ミラー 3 0 5、3 0 6 間の空隙 3 0 9 の間隔は t_{off} となる。また、図 2 9 (B) の状態に示すように、一方の電極 3 0 3 と他方の電極 3 0 4 と間の電源電圧 V_{gs} の供給を ON としたとき、上下 2 つの誘電体多層膜ミラー 3 0 5、3 0 6 間の空隙 3 0 9 の間隔は t_{on} となる。即ち、各電極 3 0 3、3 0 4 間に電圧 V_{gs} を印加すると、発生したクーロン力によって可撓薄膜 3 0 7 が変形して空隙 3 0 9 の間隔が狭くなる。

【 0 1 5 4 】

ここで、 t_{off} は可撓薄膜 3 0 7 の成膜時に調整可能であり、また t_{on} の制御は、印加される電圧 V_{gs} と可撓薄膜 3 0 7 が変形したときに発生する復元力のバランスで可能となる。尚、より安定な制御を行うには、変位が一定となるように電極 3 0 3 と可撓薄膜 3 0 7 との間にスペーサを形成してもよい。このスペーサを絶縁体とした場合には、その比誘電率 (1 以上) により印加電圧を低減する効果があり、また導電性とした場合には、さらにこの効果は大きくなる。また、電極 3 0 3、3 0 4 とスペーサとを同一材料で形成してもよい。

【 0 1 5 5 】

また、図 2 8 に示すように、光シャッタの面法線と入射光のなす角が θ_i のとき、干渉型光シャッタの光強度透過率 I_t は次式で与えられる。ここにおいて、 R は誘電体多層膜ミラー 3 0 5、3 0 6 の光強度反射率、 n は空隙 3 0 9 の屈折率 (空気の場合に 1)、 t は誘電体多層膜ミラー 3 0 5、3 0 6 間の空隙 3 0 9 の間隔、 λ は光の波長である。

【 0 1 5 6 】

【数 3】

$$I_t = \frac{1}{1 + 4R \sin^2 \left[\frac{2\pi n t \cos \theta_i}{\lambda} \right] \frac{1}{(1-R)^2}}$$

【 0 1 5 7 】

ここで、 t_{on} 、 t_{off} を下記のように設定する ($m=1$)。 $t_{on}=1/2 \times \lambda$ [nm]、 $t_{off}=3/4 \times \lambda$ [nm]、 $\lambda=405$ nmである。また、誘電体多層膜ミラー 305、306の光強度反射率 $R=0.9$ とし、入射角 $\theta_i=0$ [deg]とし、空隙309を空気又は希ガスとして屈折率 $n=1$ とする。このときの干渉型光シャッタにおける光強度透過率の波長に対する特性は、電圧 V_{gs} を印加しないとき (t_{off} のとき) は光を全く透過せず、電圧 V_{gs} を印加したとき (t_{on} のとき) には半導体レーザ光の波長405 [nm] を中心とした光を透過するようになる。

【 0 1 5 8 】

干渉型光シャッタでは、一方の電極303及び他方の電極304との間に電圧 V_{gs} を印加することで発生したクーロン力によって可撓薄膜307を撓ませ、多層膜干渉効果を発生することにより可撓薄膜307を透過する光を光変調することができる。尚、干渉の条件を満たせば、空隙309の間隔 t 、屈折率 n 、誘電体多層膜ミラー305、306の光強度反射率 R 等は何れの組み合わせであってもよい。また、電圧 V_{gs} の値により間隔 t を連続的に変化させると、透過スペクトルの中心波長を任意に変化させることが可能である。これにより透過光量を連続的に制御することも可能である。即ち、印加電圧による階調制御が可能となる。

【 0 1 5 9 】

全反射型の空間変調素子は、図30及び図31に示すように、メカニカル光タ

ップ駆動構成の例では、ノーマリオンの光タップ構成である。ここで、導光プレートメサ 3 2 6 は導光プレート 3 1 2 上のスペーサ 3 4 8 の高さより低い高さを有する。スペーサ 3 4 8 の近くにはライン電極 3 5 6 が設けられている。対応するカラム電極 3 5 8 はメカニカルタップ膜 3 2 8 の上面に配置されている。ノーマリオン構成において、メカニカルタップ膜が備える張力性 (tensile nature) により、メサの上方のスペーサ 3 4 8 の高さが増加していることでメカニカルタップ膜は、導光プレートメサ 3 2 6 の上面 3 3 6 から離間された状態に維持される。タップ膜とメサのトップ面 3 3 6 との間の例えば約 $0.7 \mu\text{m}$ のギャップ G は、導光プレートからの光がタップ膜及び上方の透過基板 3 3 8 に透過することを許さない。この状態 (オン状態) では導光プレート 3 1 2 の図中左側から入射した光は右側に出射するため、その出射光を露光に用いることができる。一方、ライン電極 3 5 6 とカラム電極 3 5 8 との間に適切な電位差が印加されると、両電極には引き合う電荷構成 (図示せず) が発生する。その結果、可撓性のあるタップ膜 3 2 8 が導光プレート及びライン電極 3 5 6 に引き寄せられる。この正の引力はタップ膜を下方へ撓ませ、これによってタップ膜が動いて導光プレートメサ 3 2 6 のトップ面 3 3 6 に接触する。図 2 5 に示すように、この接触はメカニカル光タップをオフにし、これにより、導光プレートメサから出た光が、接触しているメカニカルタップ膜を通り、そこから透過基板 3 3 8 を通って図中上方へ抜けて行く。この状態 (オフ状態) では導光プレート 3 1 2 の図中左側から入射した光は右側から出射しないため露光されない。引き合うような電極電位を除くことにより、張力性メカニカルタップ膜は上方に向けて通常の休止位置へスナップバックし、ギャップ G がタップ膜を導光プレートメサのトップ面から離間させることでオン状態に戻る。

【 0 1 6 0 】

【発明の効果】

本発明の光造形装置は、高速且つ高精細な造形が可能である、という効果を奏する。また、本発明の露光ユニットは、従来に比べて小型化されており、露光ユニットに多数配列することができる、という効果を奏する。更に、光源を所定の高出力レーザ光源とした場合には、安価な光造形装置及び露光ユニットが提供さ

れる、という効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の概略構成を示す斜視図である。

【図 2】 本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の露光ユニットの構成を示す部分拡大図である。

【図 3】 (A) は本発明の第 1 の実施の形態に係る積層造形装置の紫外光源の構成を示す平面図であり、(B) はバンドル状に配置したファイバの端面を示す平面図である。

【図 4】 図 3 に示す光源の狭域帯バンドパスフィルタの透過特性を示すグラフである。

【図 5】 (A) ～ (C) は DMD の構成を示す部分拡大図である。

【図 6】 DMD の動作を説明するための説明図である。

【図 7】 本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の光源として使用可能なブロードエリアの発光領域を有する GaN 系半導体レーザの積層構造の一例を示す概略断面図である。

【図 8】 本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の光源として使用可能な半導体レーザ励起固体レーザの構成を示す概略断面図である。

【図 9】 本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の光源として使用可能な SHG (第 2 高調波発生) ファイバレーザの構成を示す概略断面図である。

【図 10】 本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の光源として使用可能な FHG (第 4 高調波発生) ファイバレーザの構成を示す概略断面図である。

【図 11】 本発明の第 2 の実施の形態に係る光造形装置の概略構成を示す斜視図である。

【図 12】 本発明の第 3 の実施の形態に係る光造形装置の概略構成を示す斜視図である。

【図 13】 (A) は本発明の第 3 の実施の形態に係る光造形装置の露光ユニットの構成を示す平面図であり、(B) は (A) の光軸に沿った断面図である。

【図 14】 (A) は本発明の第 3 の実施の形態に係る光造形装置の露光ユニット

の変形例を示す平面図であり、(B)は(A)の光軸に沿った断面図である。

【図 1 5】(A)は本発明の第 3 の実施の形態に係る光造形装置の露光ユニットの変形例を示す平面図であり、(B)は(A)の光軸に沿った断面図である。

【図 1 6】(A)は本発明の第 3 の実施の形態に係る光造形装置の露光ユニットの変形例を示す平面図であり、(B)は(A)の光軸に沿った断面図である。

【図 1 7】本発明の第 4 の実施の形態に係る光造形装置の概略構成を示す斜視図である。

【図 1 8】本発明の第 4 の実施の形態で使用する光源を示す斜視図である。

【図 1 9】光源における半導体レーザチップの斜視図である。

【図 2 0】(A)は光源における半導体レーザチップの平面図であり、(B)は(A)の光軸に沿った断面図である。

【図 2 1】本発明の第 4 の実施の形態に係る光造形装置の変形例を示す斜視図である。

【図 2 2】光変調アレイ素子として使用されるグレーティングライトバルブ素子(GLV素子)の概略構成を示す斜視図である。

【図 2 3】(A)及び(B)はGLV素子の動作原理の説明図である。

【図 2 4】本発明の第 4 の実施の形態に係る光造形装置の変形例を示す斜視図である。

【図 2 5】本発明の第 5 の実施の形態に係る光造形装置の概略構成を示す斜視図である。

【図 2 6】本発明の第 5 の実施の形態に係る光造形装置の変形例を示す斜視図である。

【図 2 7】干渉型の空間変調素子の例を示す平面図である。

【図 2 8】図 2 7 の A - A 断面図である。

【図 2 9】図 2 7 の干渉型の空間変調素子の動作状態を示す説明図である。

【図 3 0】全反射型の空間変調素子の例を示す概略断面図である。

【図 3 1】図 3 0 の全反射型の空間変調素子の動作状態を示す説明図である。

【図 3 2】従来のレーザ走査方式の光造形装置の構成を示す斜視図である。

【図 3 3】従来の可動ミラー方式の光造形装置の構成を示す斜視図である。

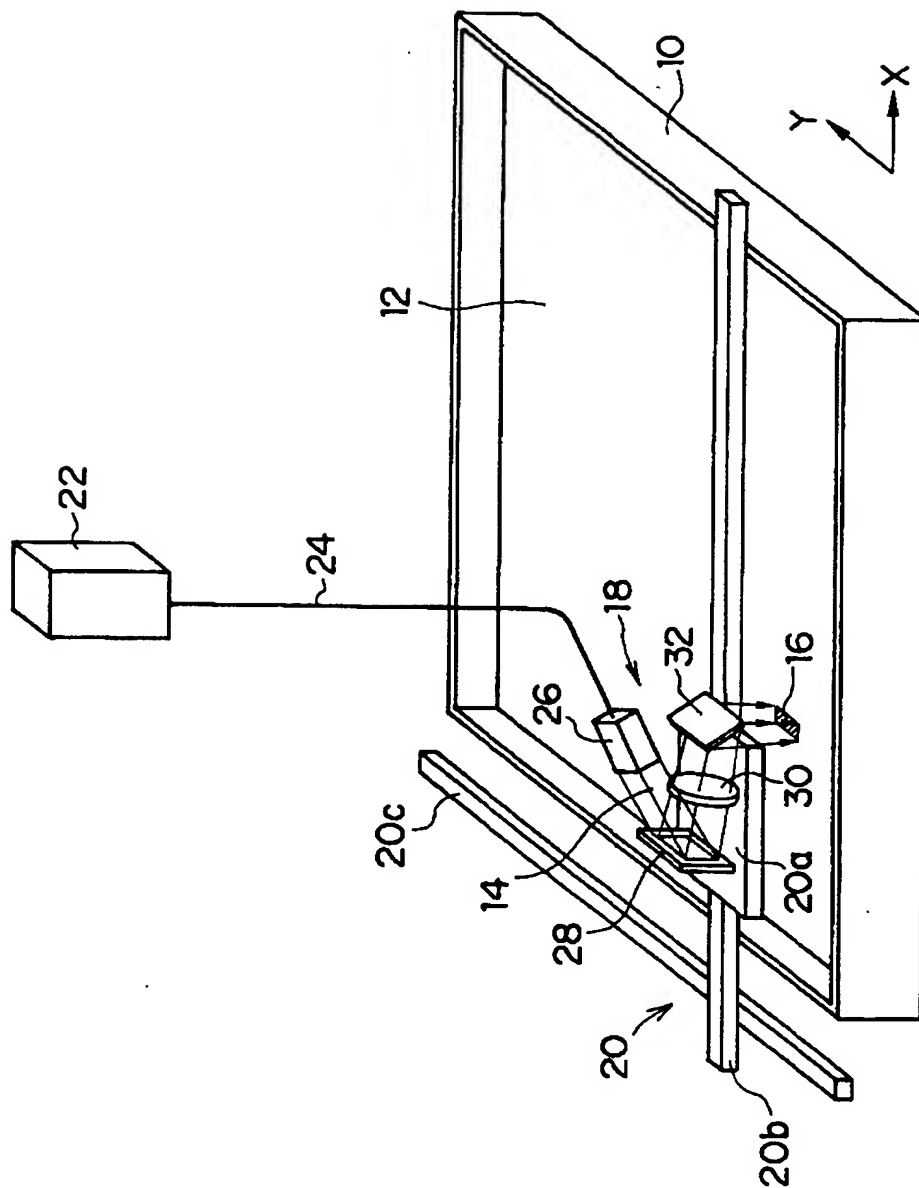
【符号の説明】

- 1 0 容器
- 1 2 光硬化性樹脂
- 1 4 光ビーム
- 1 6 領域
- 1 8、1 8 A 露光ユニット
- 2 0 X Y 位置決め機構
- 2 2 光源
- 2 4 光ファイバ
- 2 6 ホモジナイザ光学系
- 2 8 デジタル・マイクロミラー・デバイス (DMD)
- 3 0 集光レンズ
- 3 2 反射ミラー
- 4 2 露光ヘッド
- 4 4 G a N 系半導体レーザ
- 4 6 集光レンズ
- 4 8 2 次元マイクロスキャナ
- 5 6 ペルチェ素子
- 5 8 光出射窓
- 6 0 パッケージ

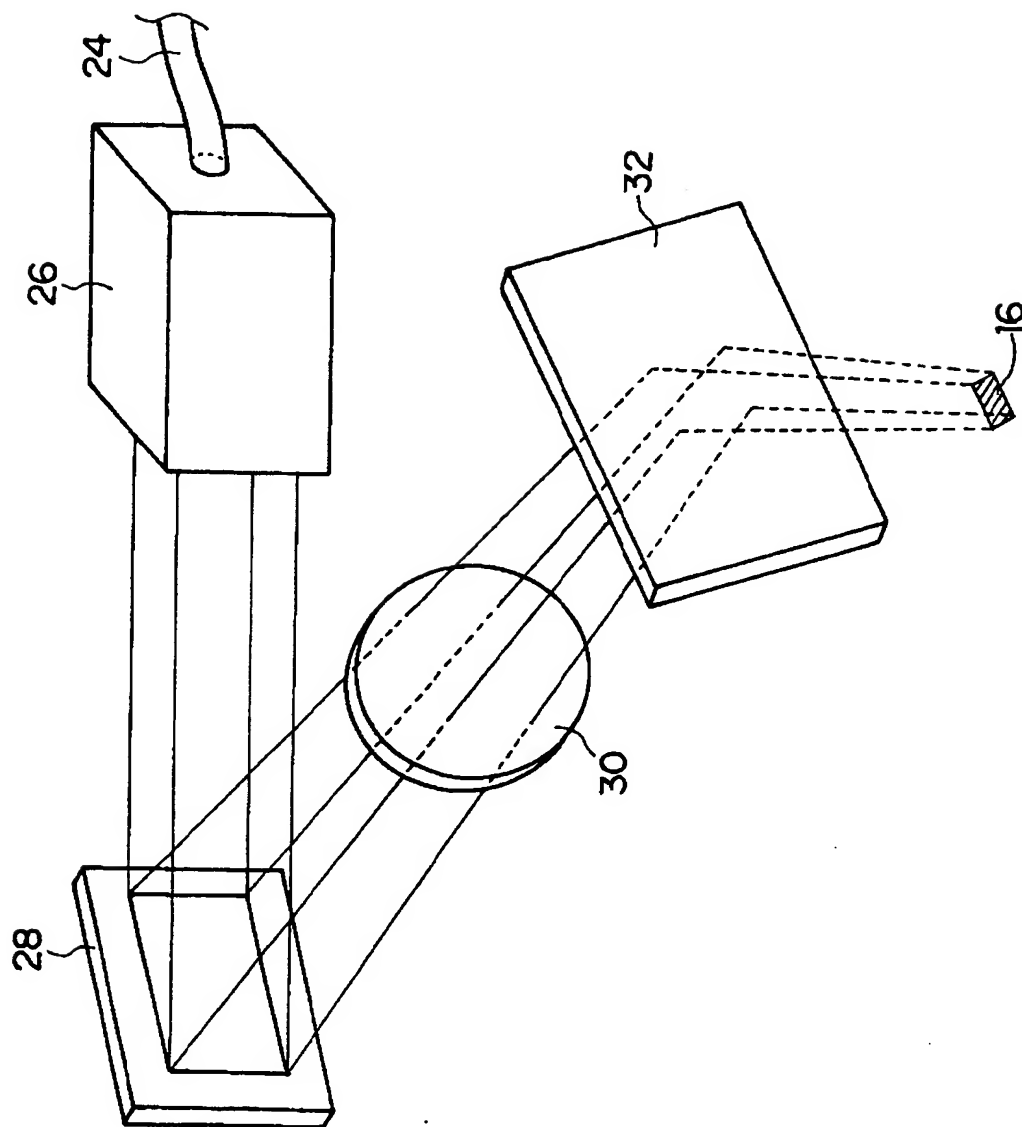
【書類名】

図面

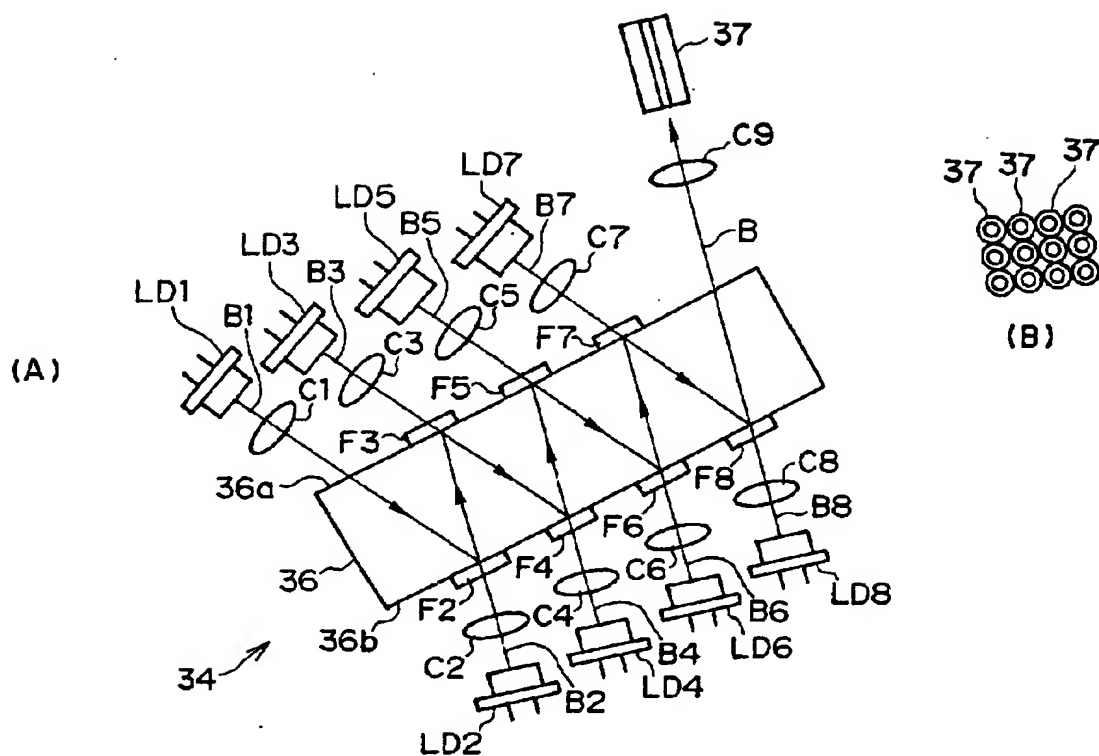
【図 1】



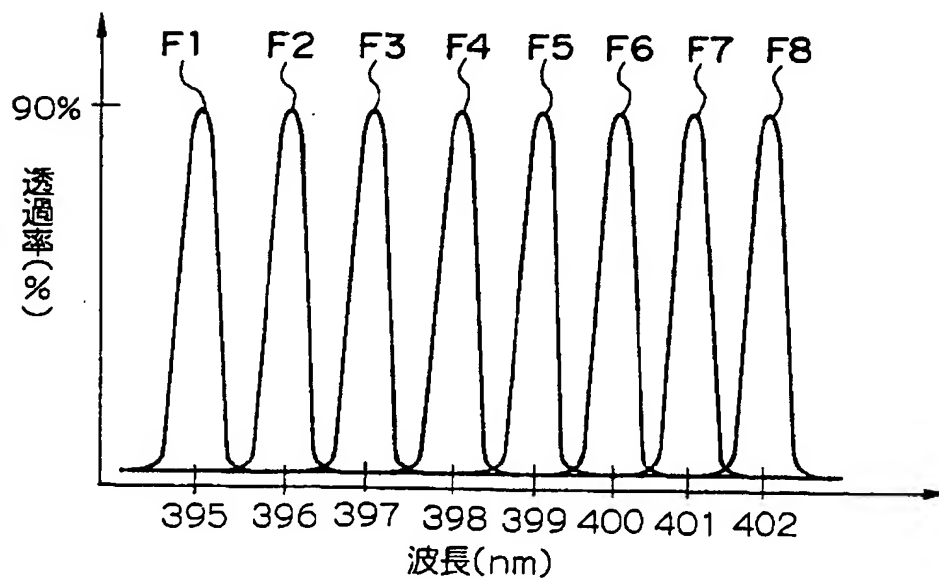
【図 2】



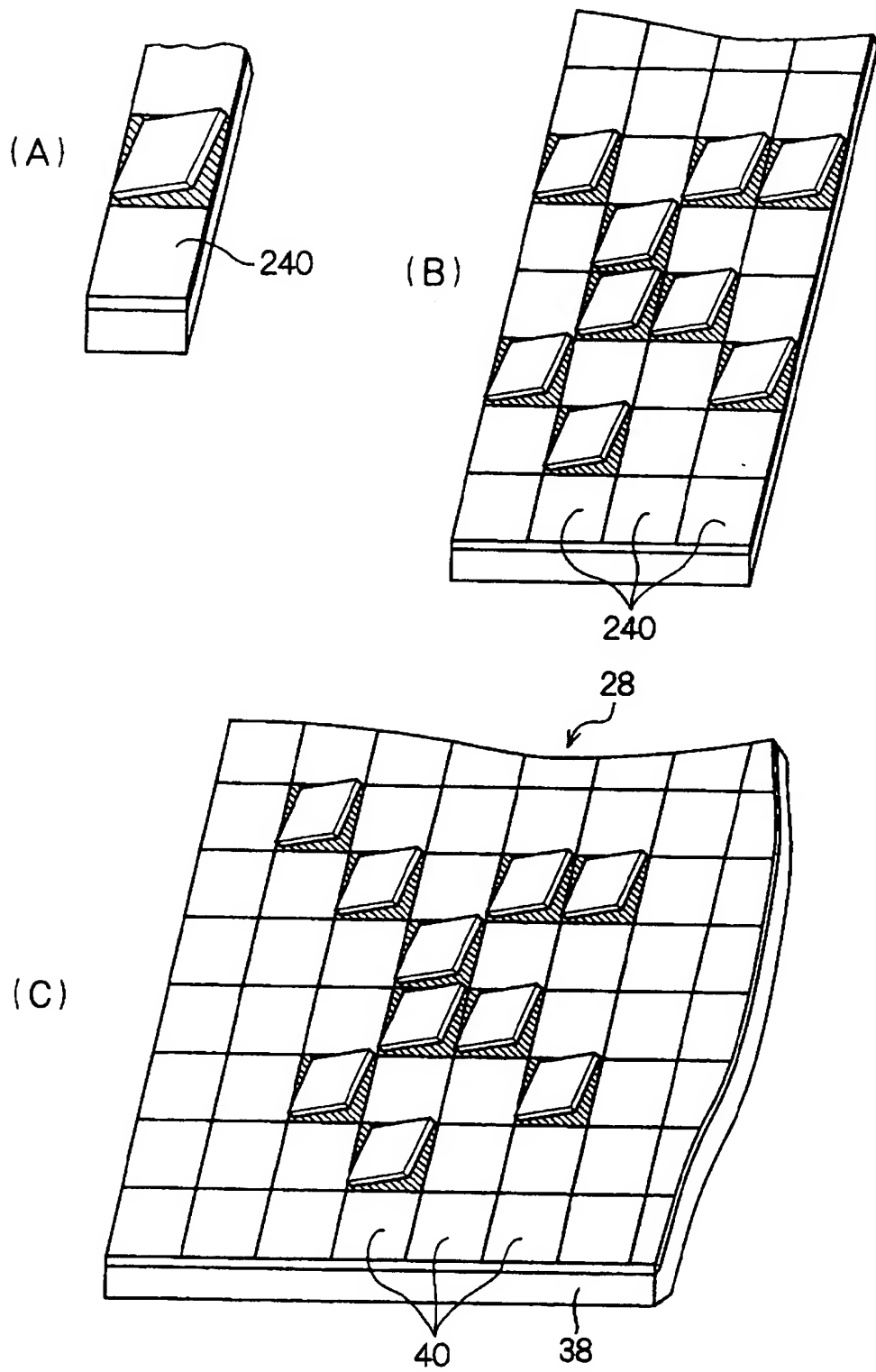
【図 3】



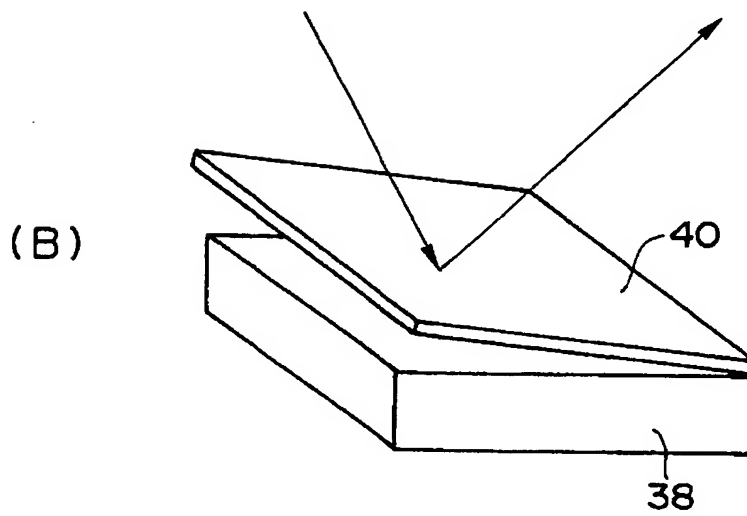
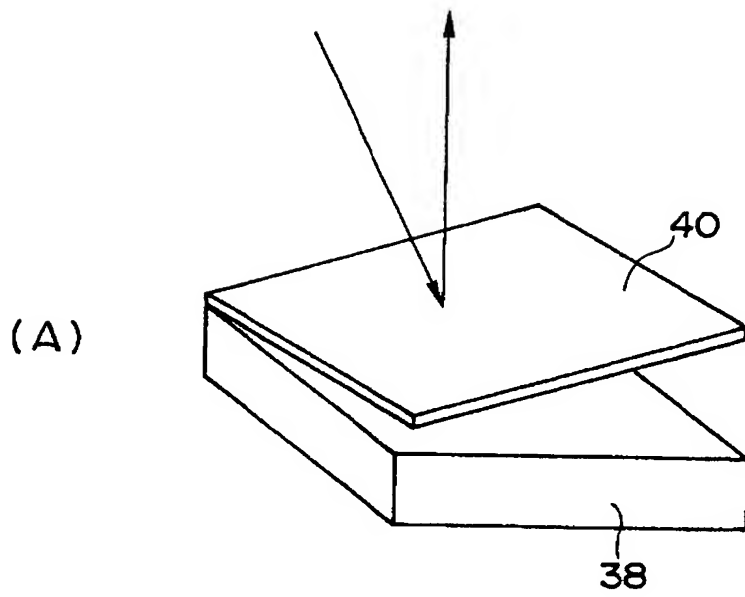
【図 4】



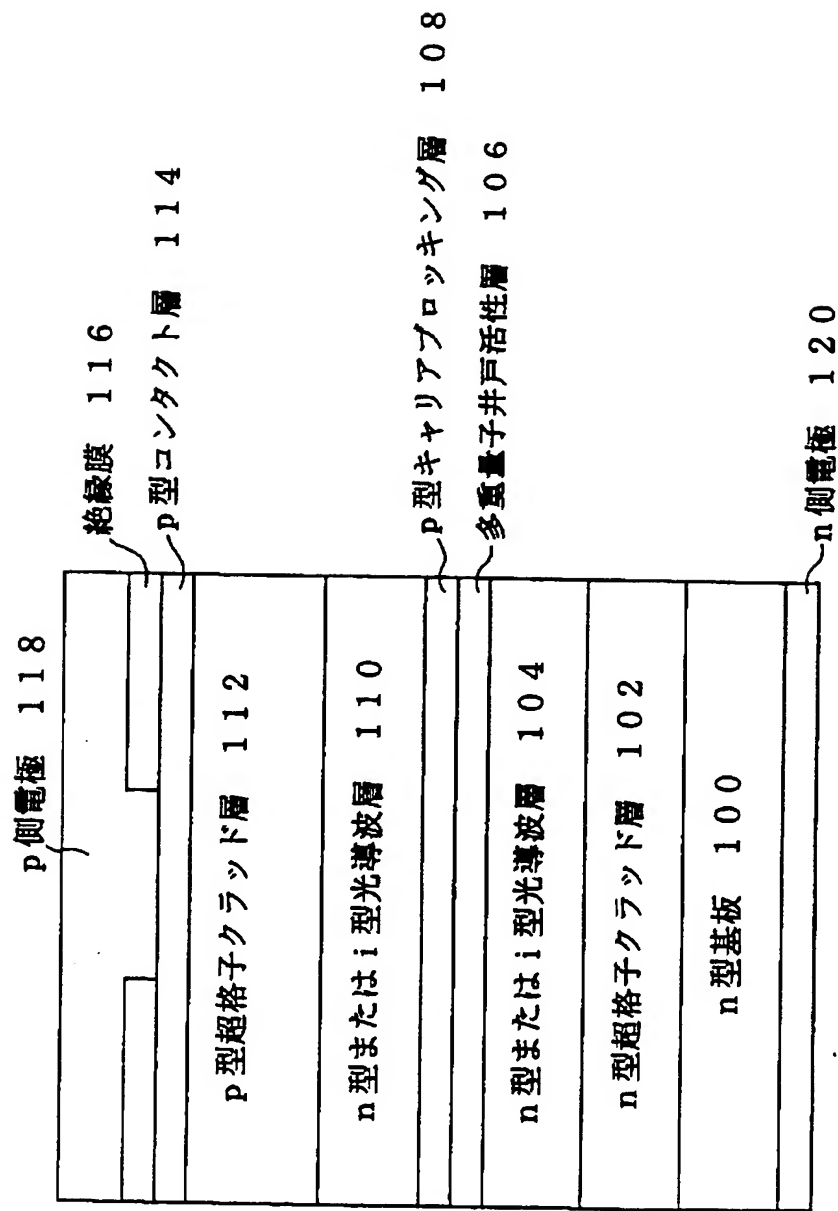
【図 5】



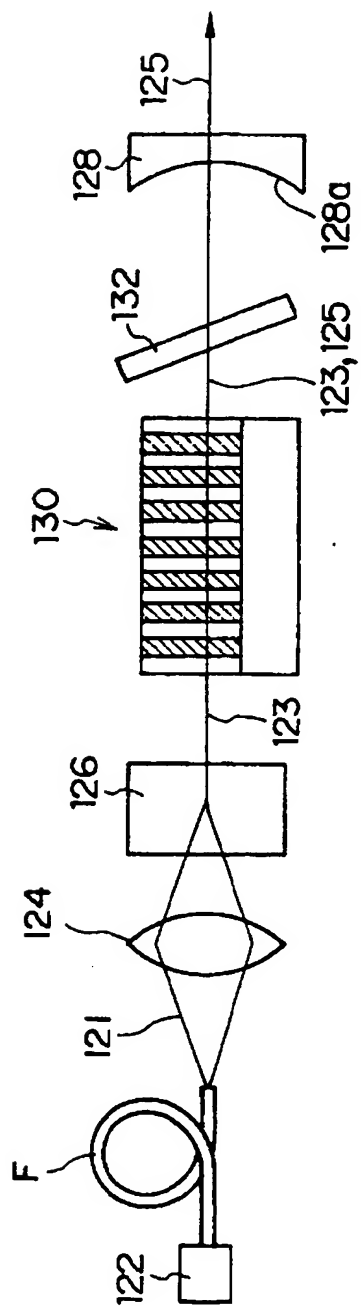
【図 6】



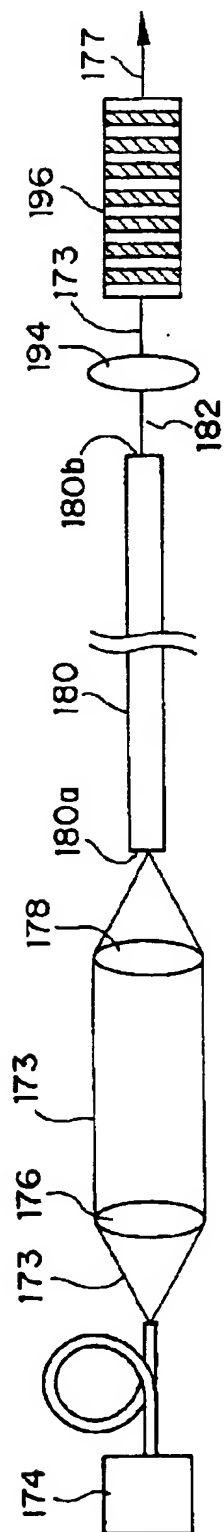
【図 7】



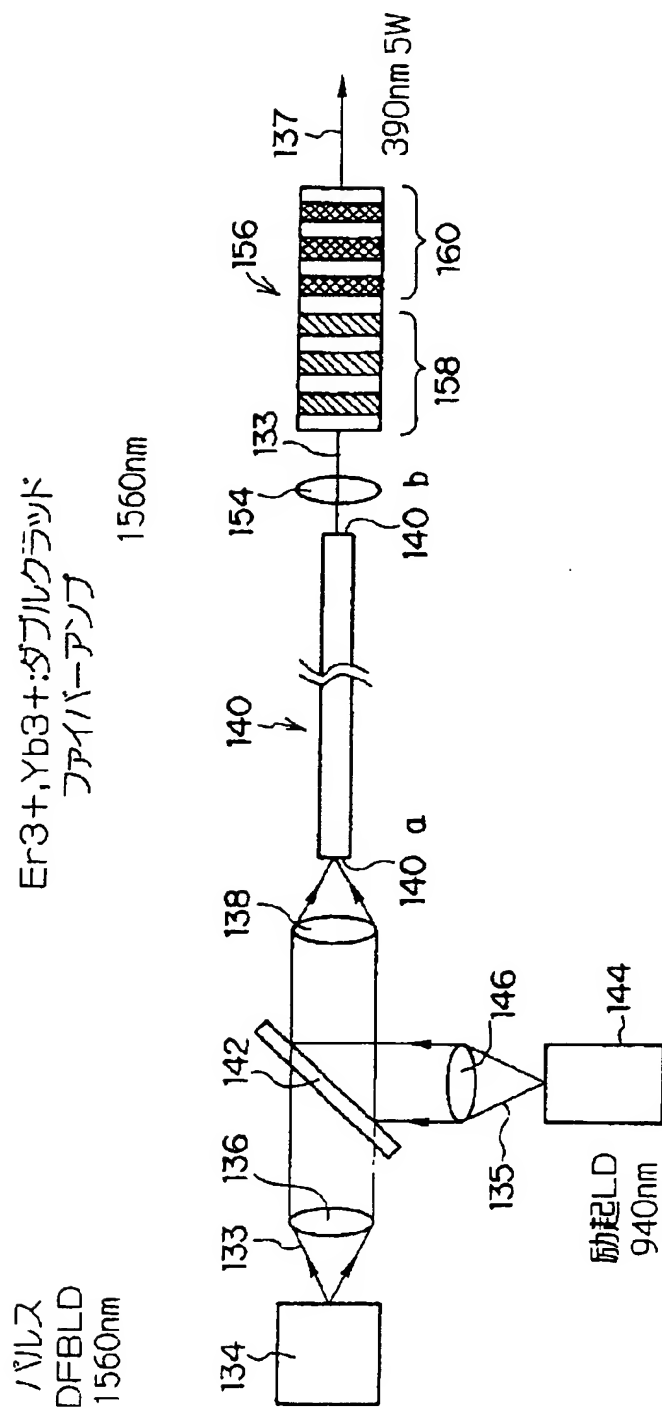
【 図 8 】



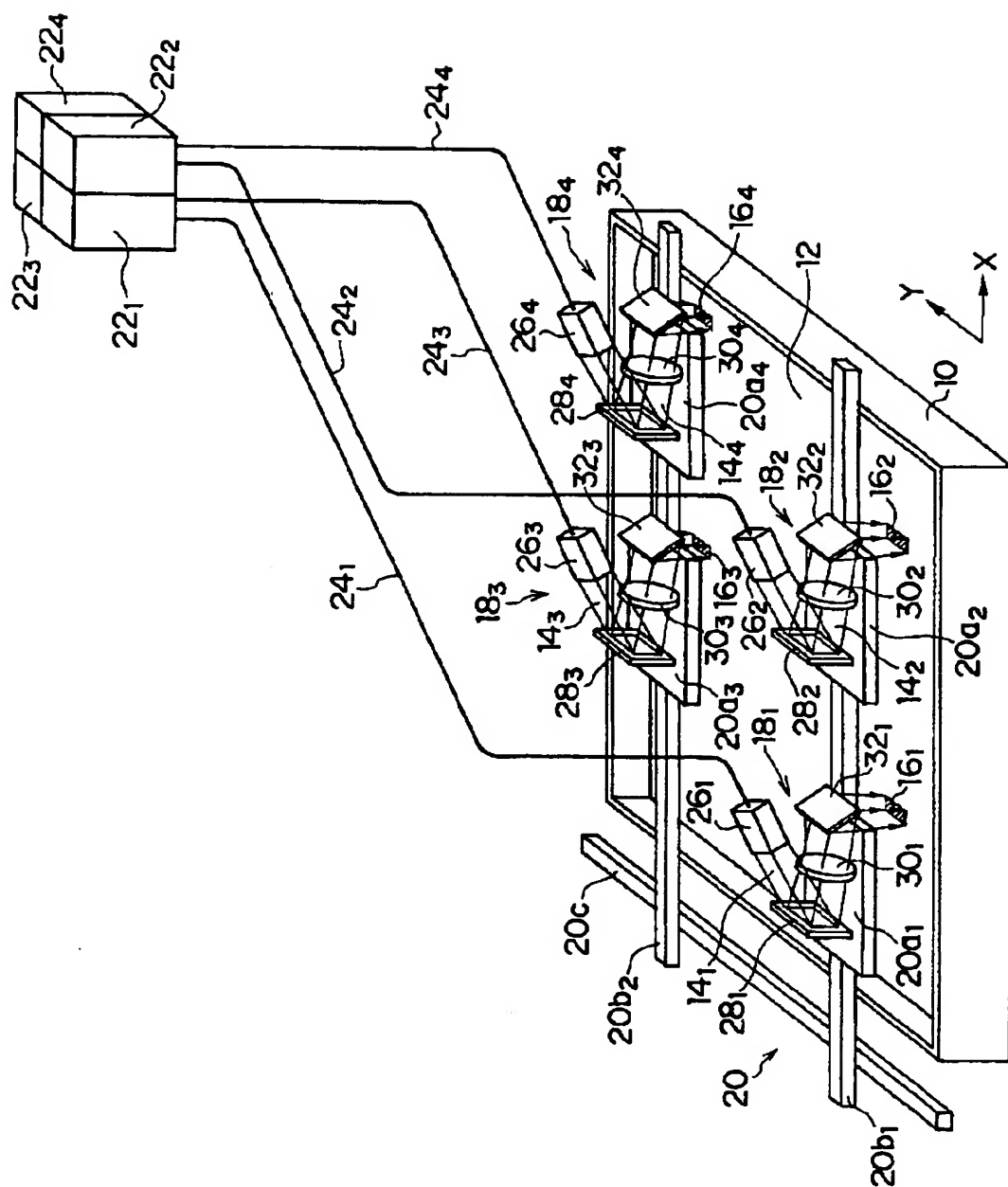
【図 9】



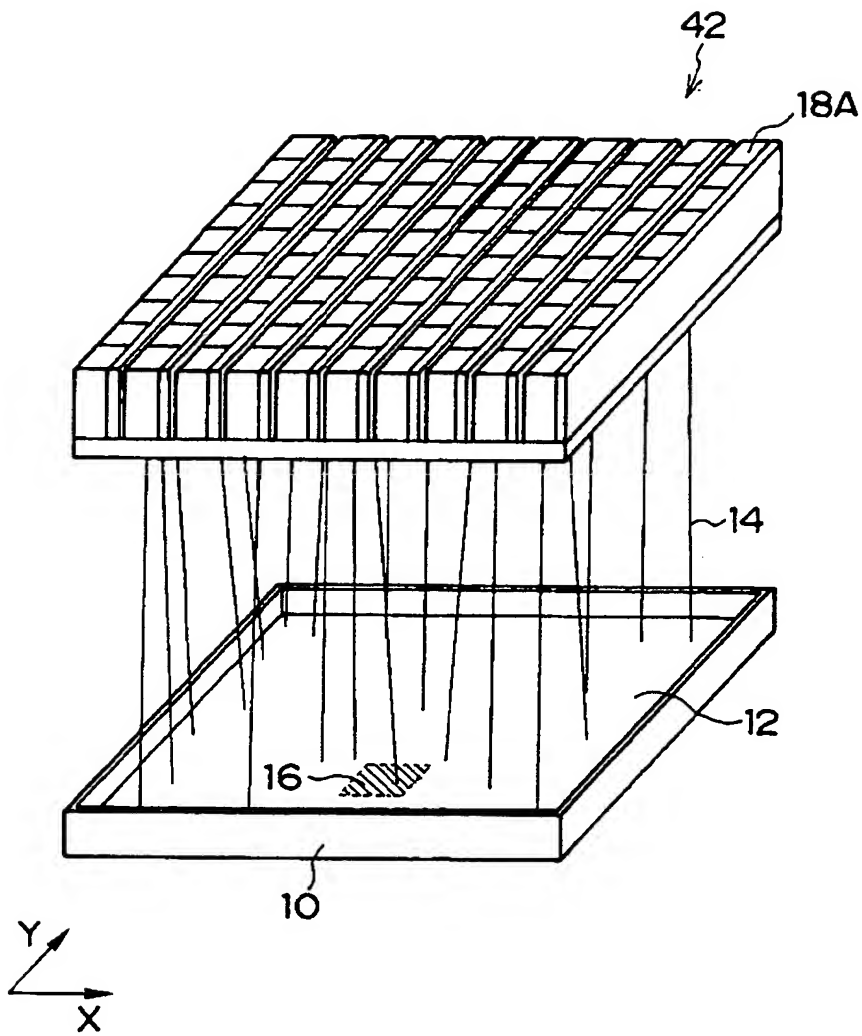
【図 10】



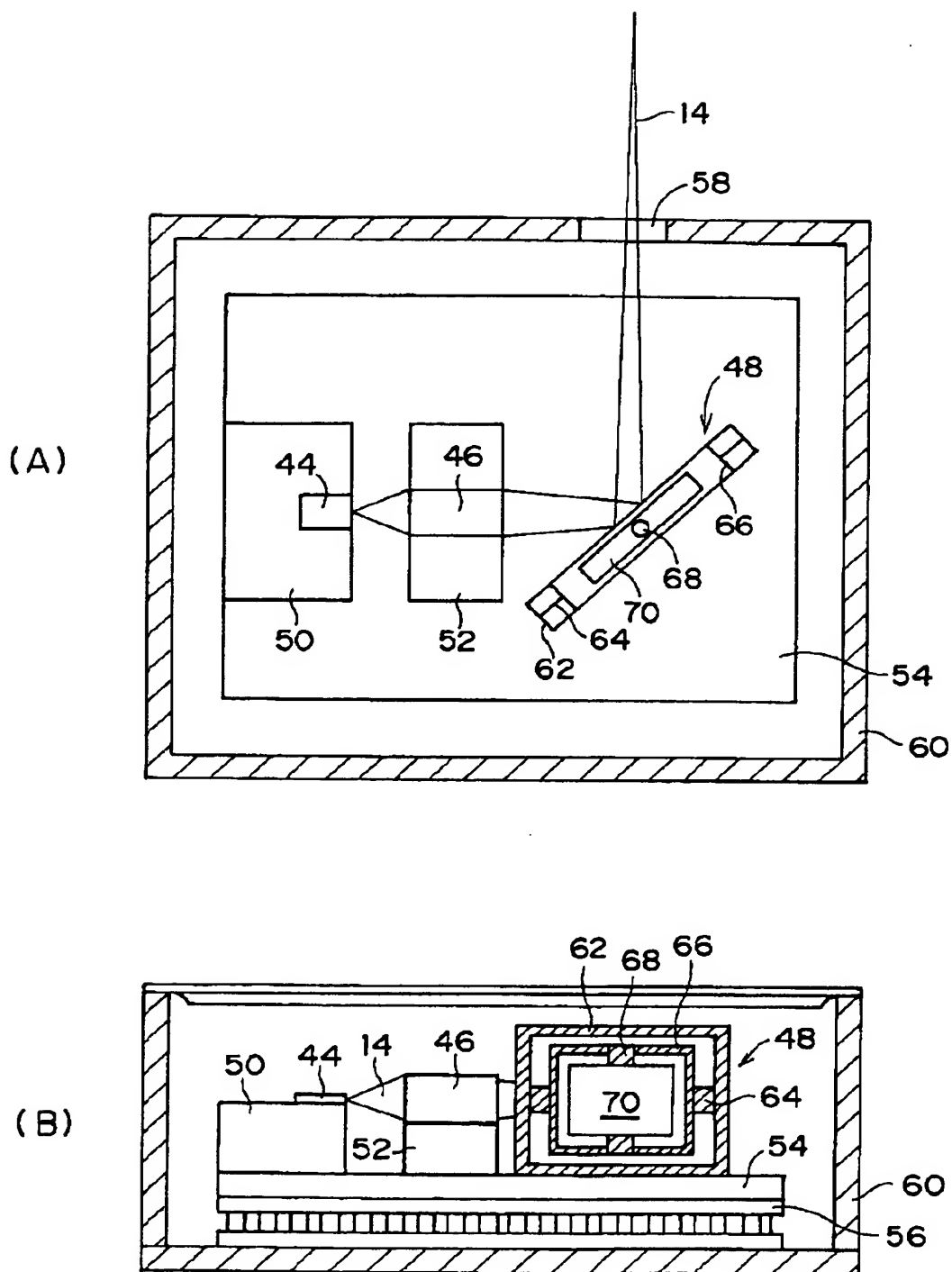
【図 11】



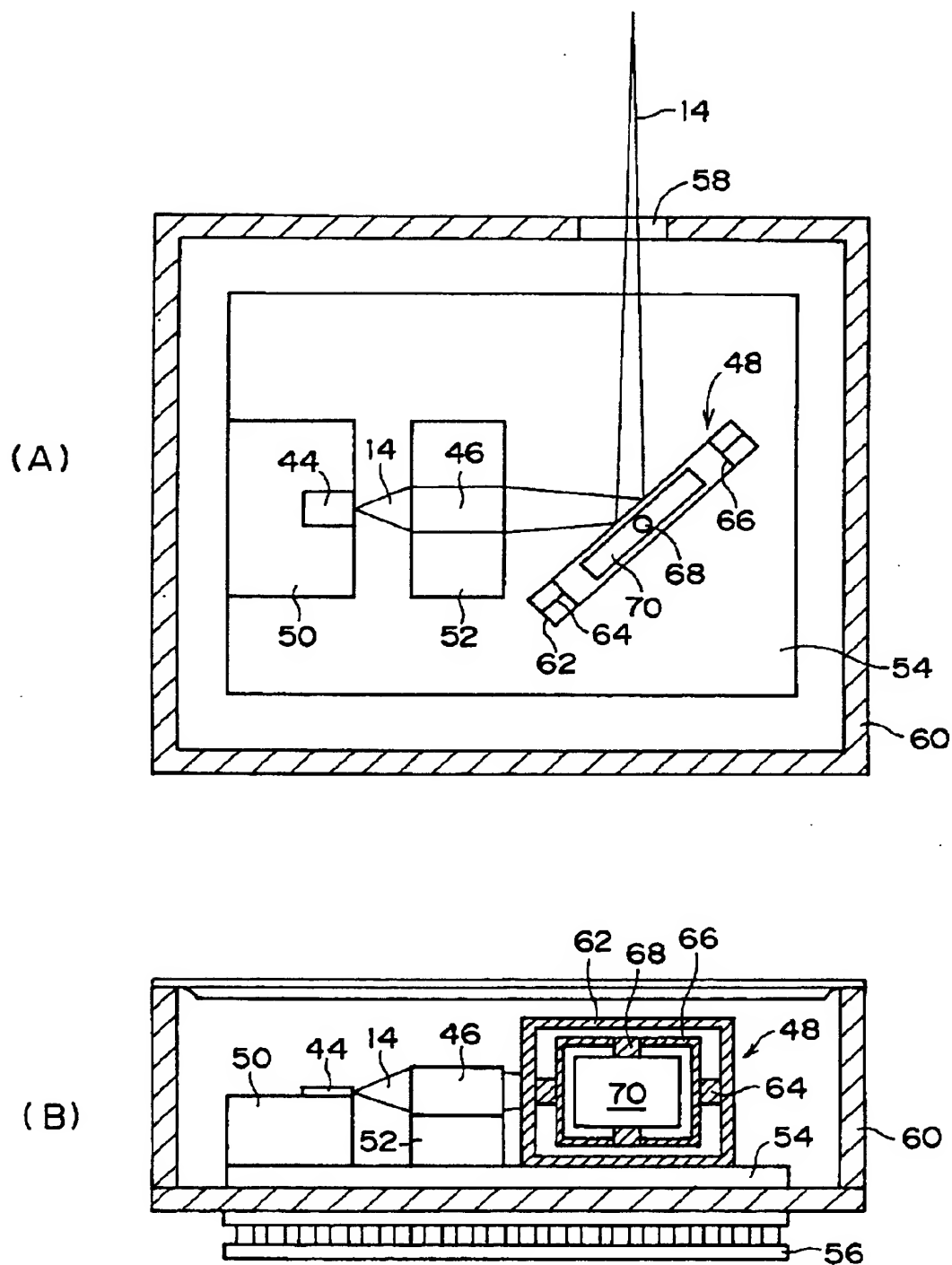
【図 12】



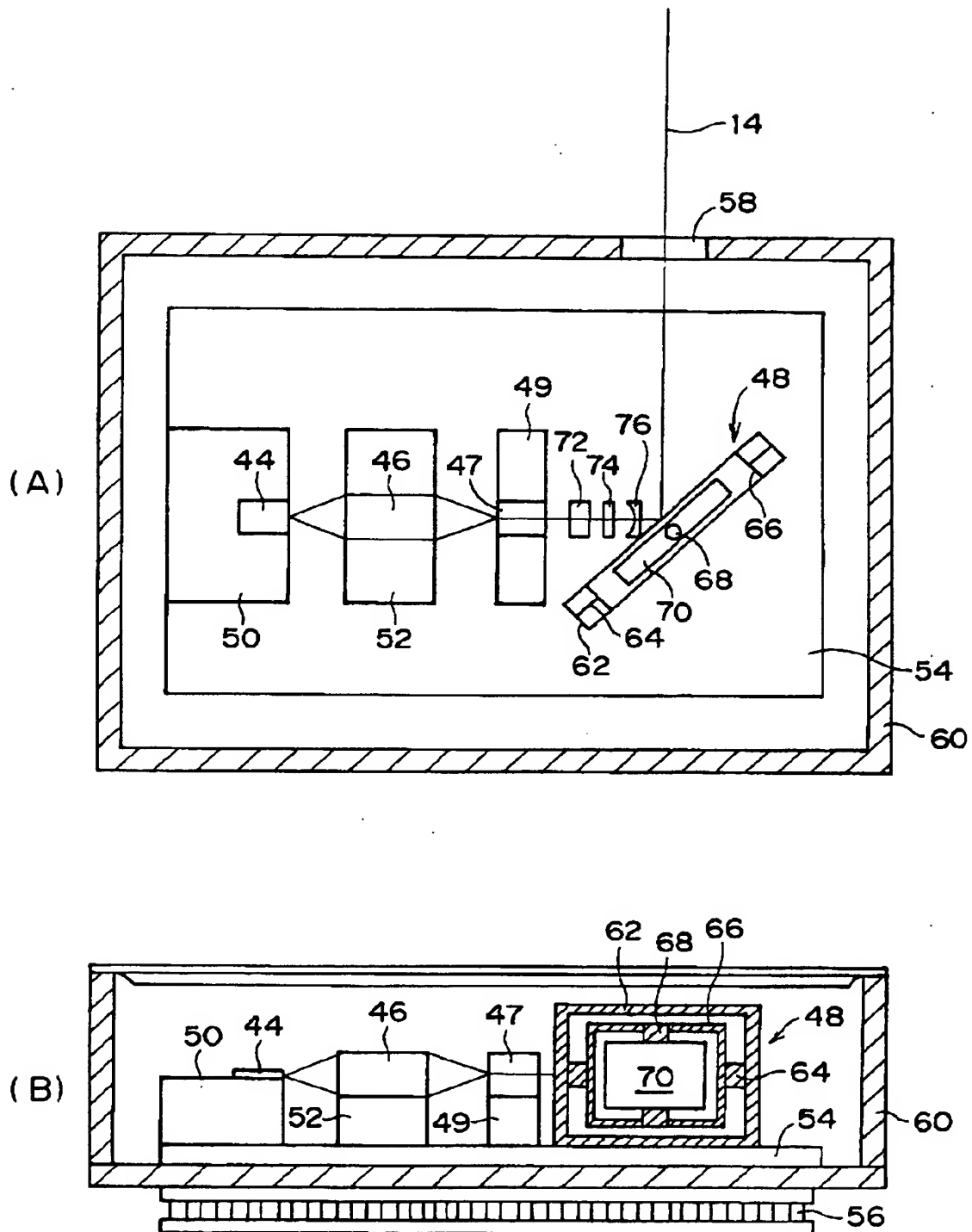
【图 13】



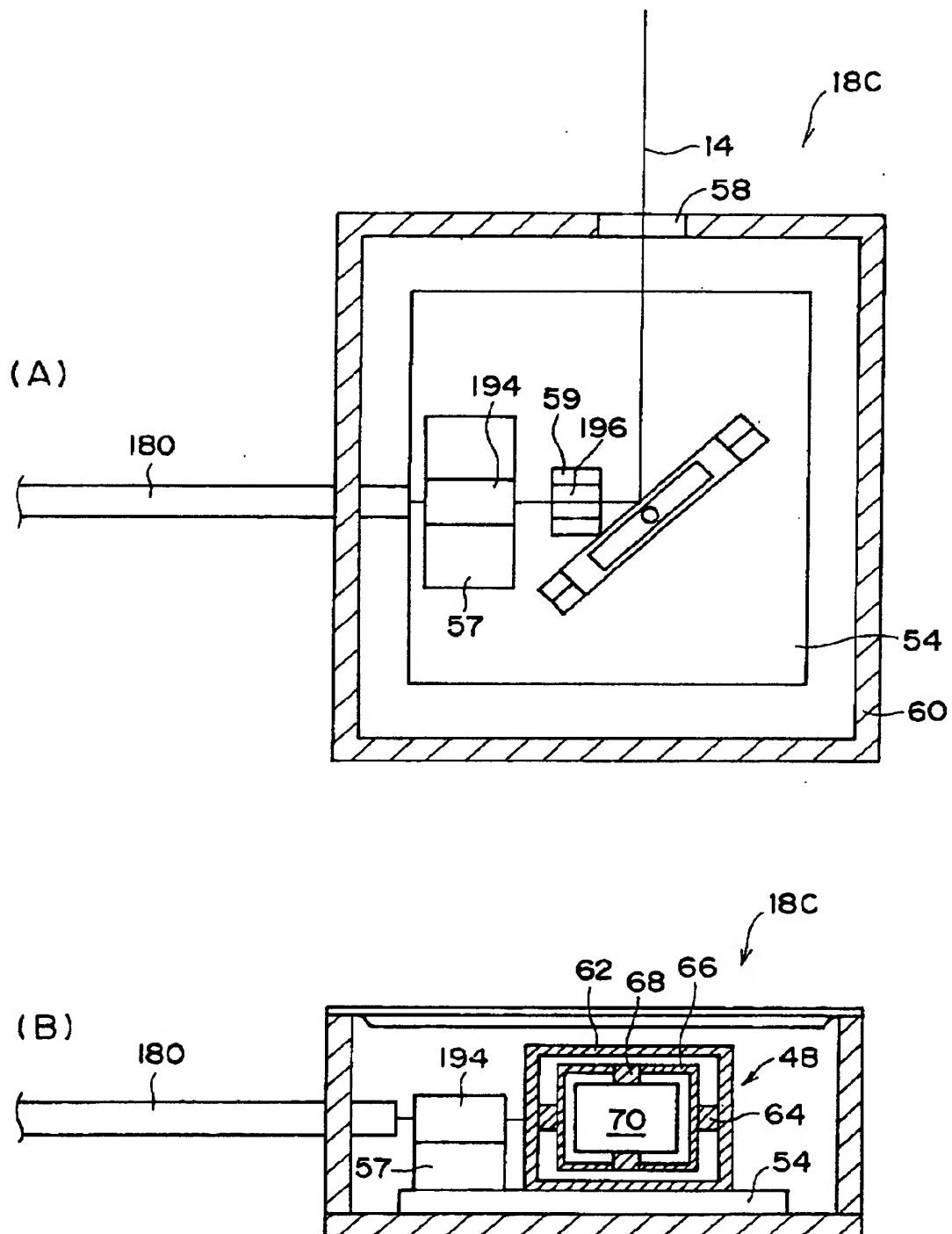
【図14】



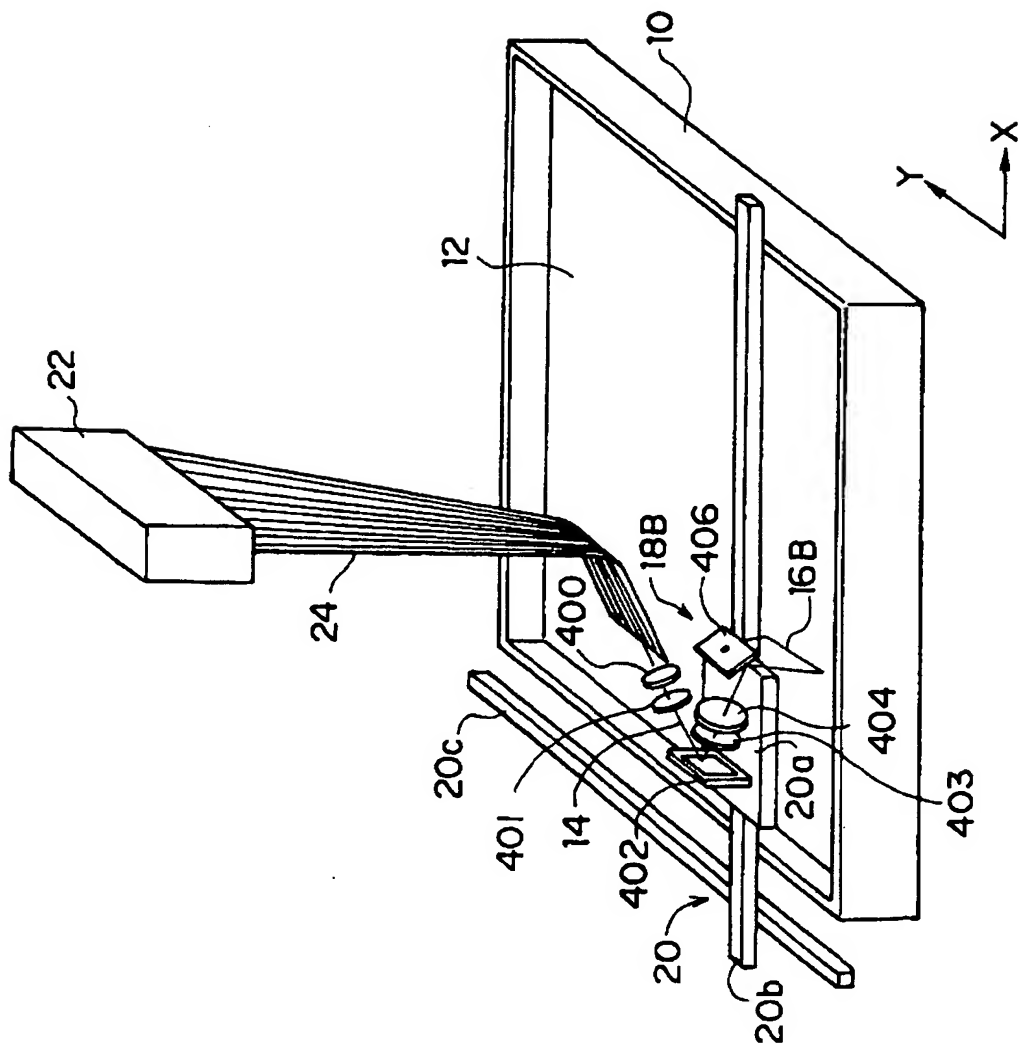
【図 15】



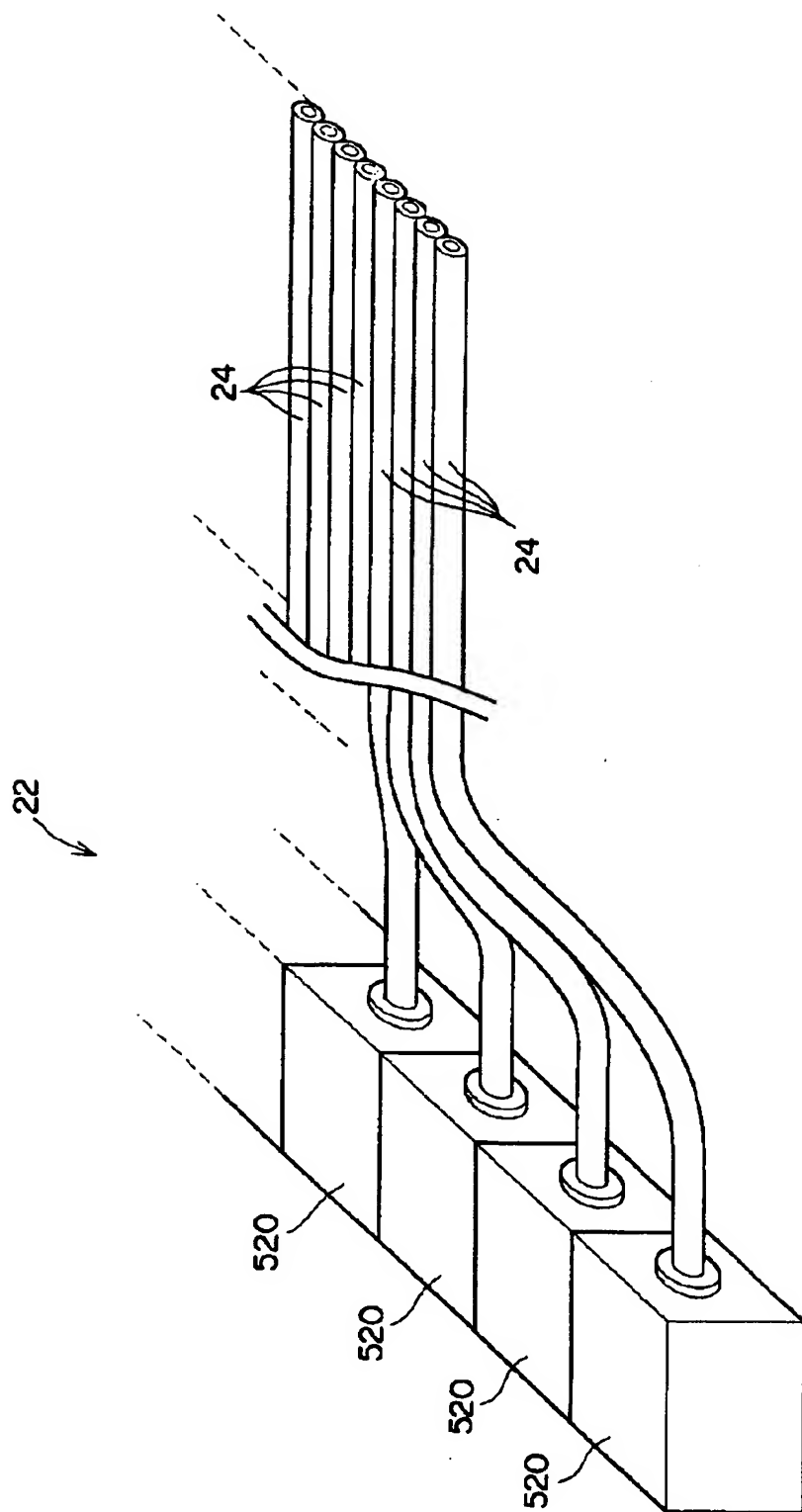
【図16】



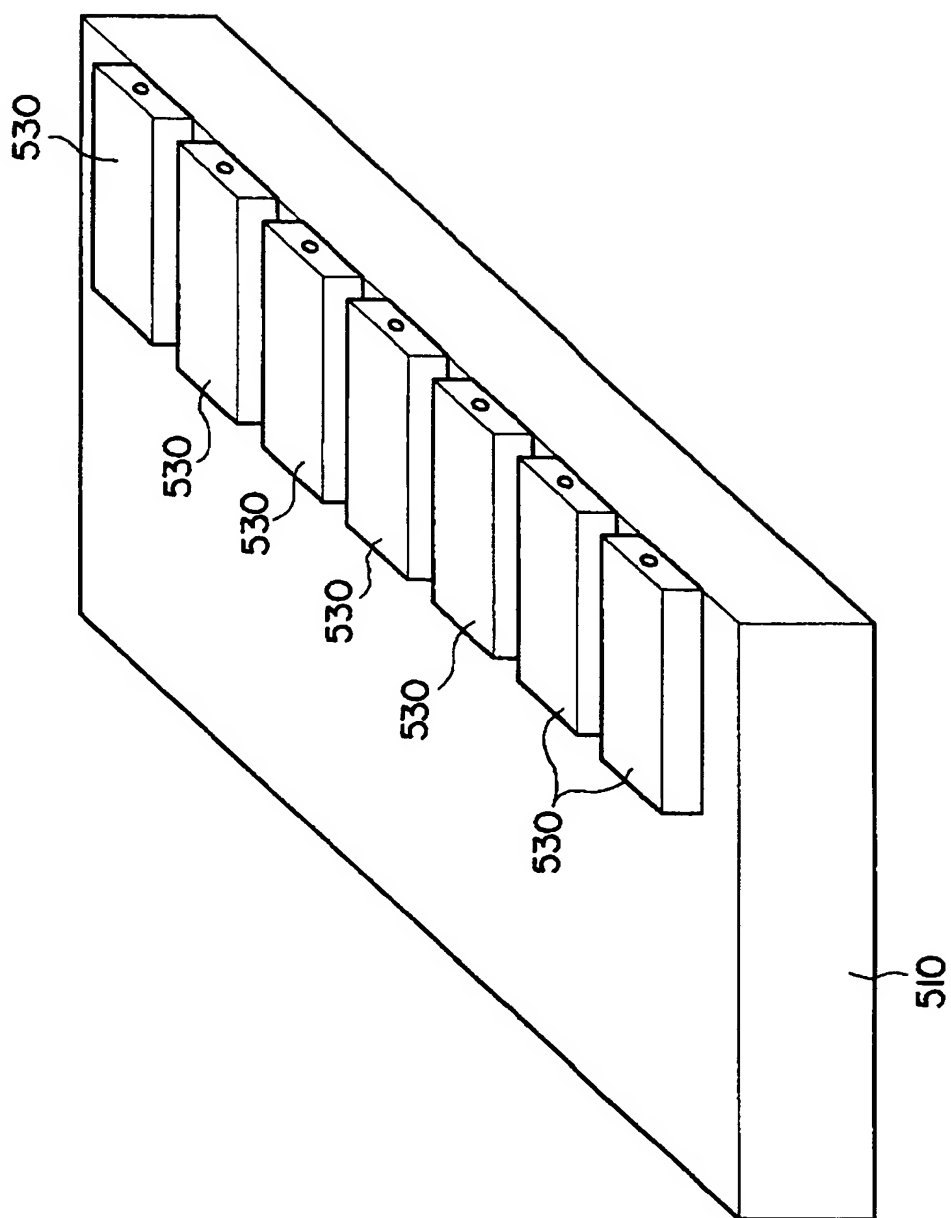
【図 1 7】



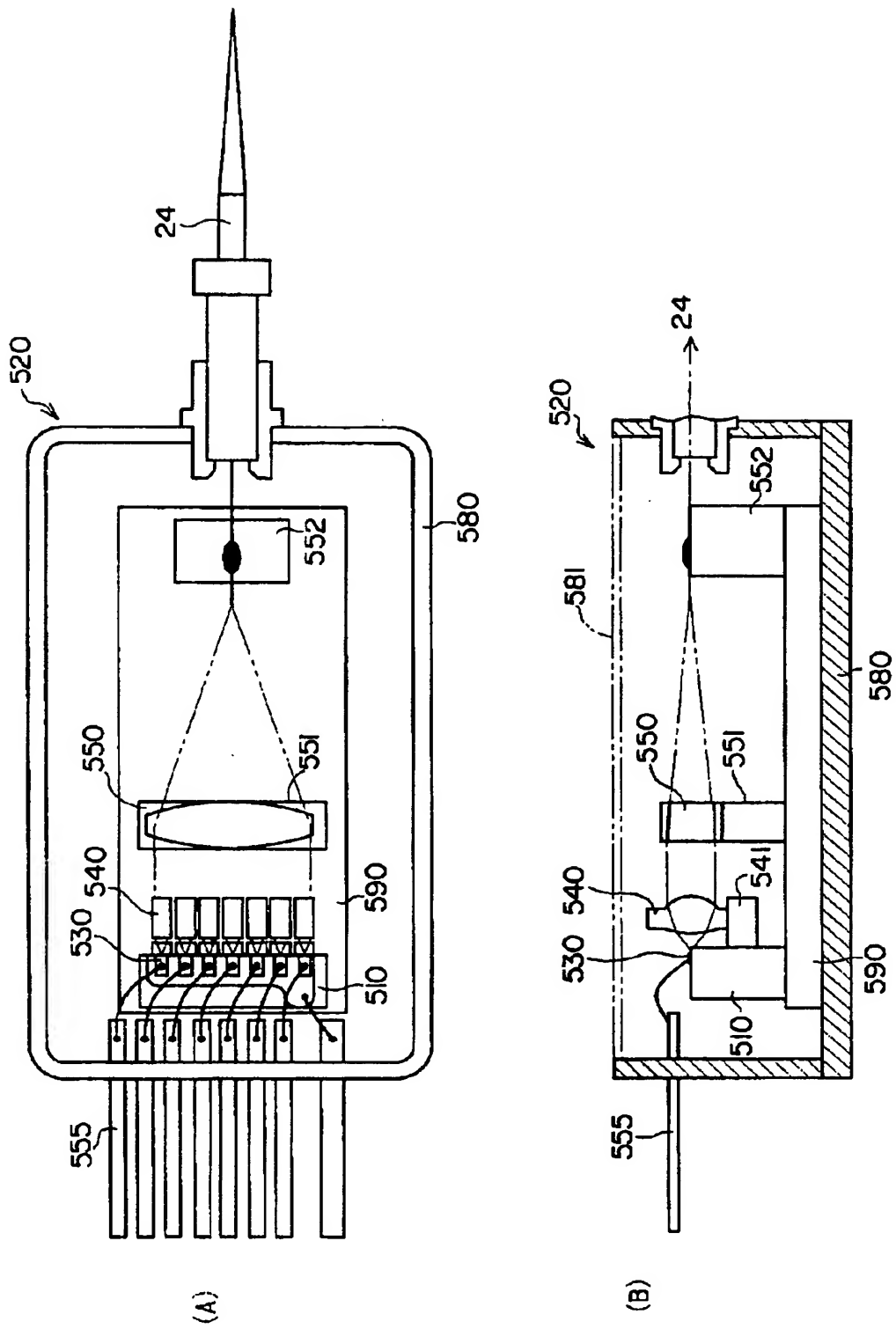
【図 1 8】



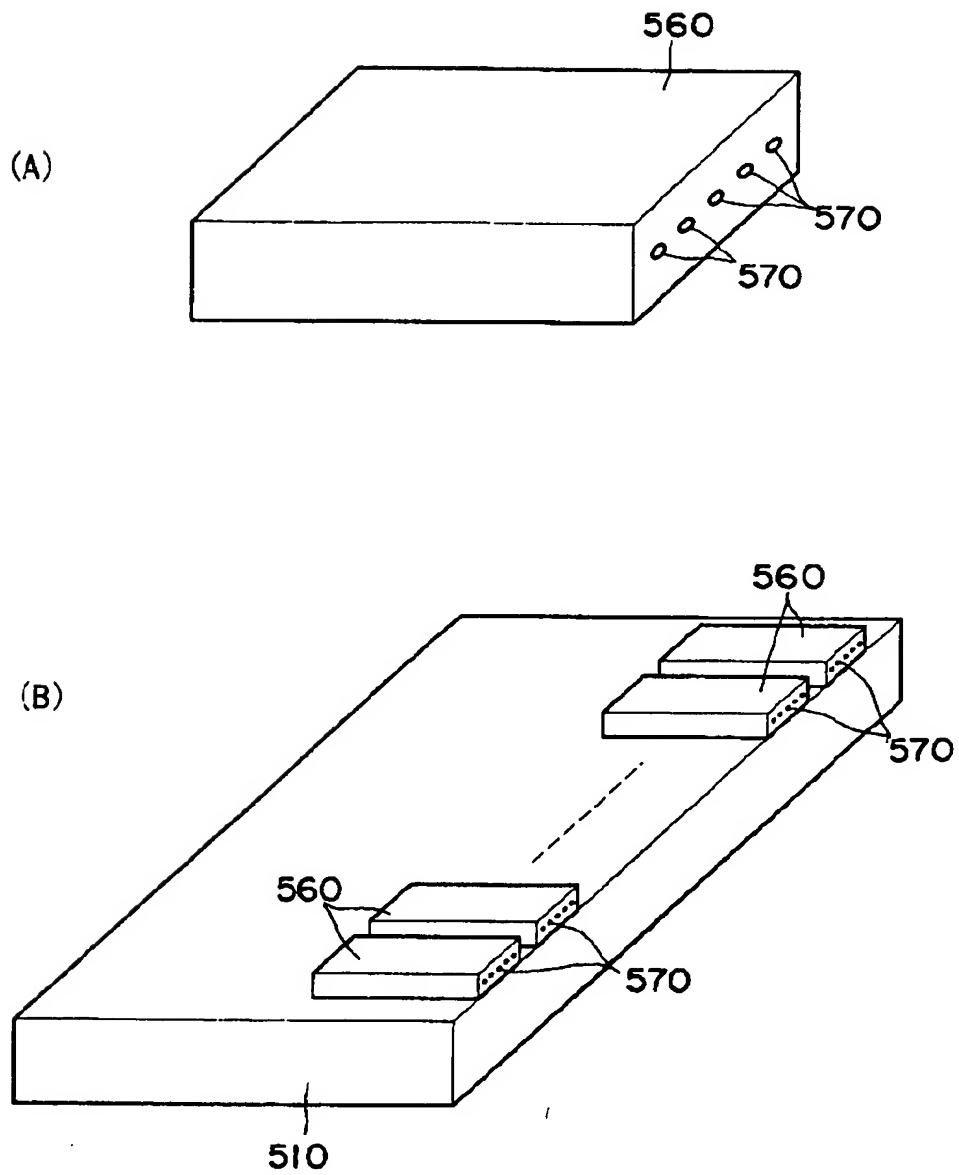
【図 1 9】



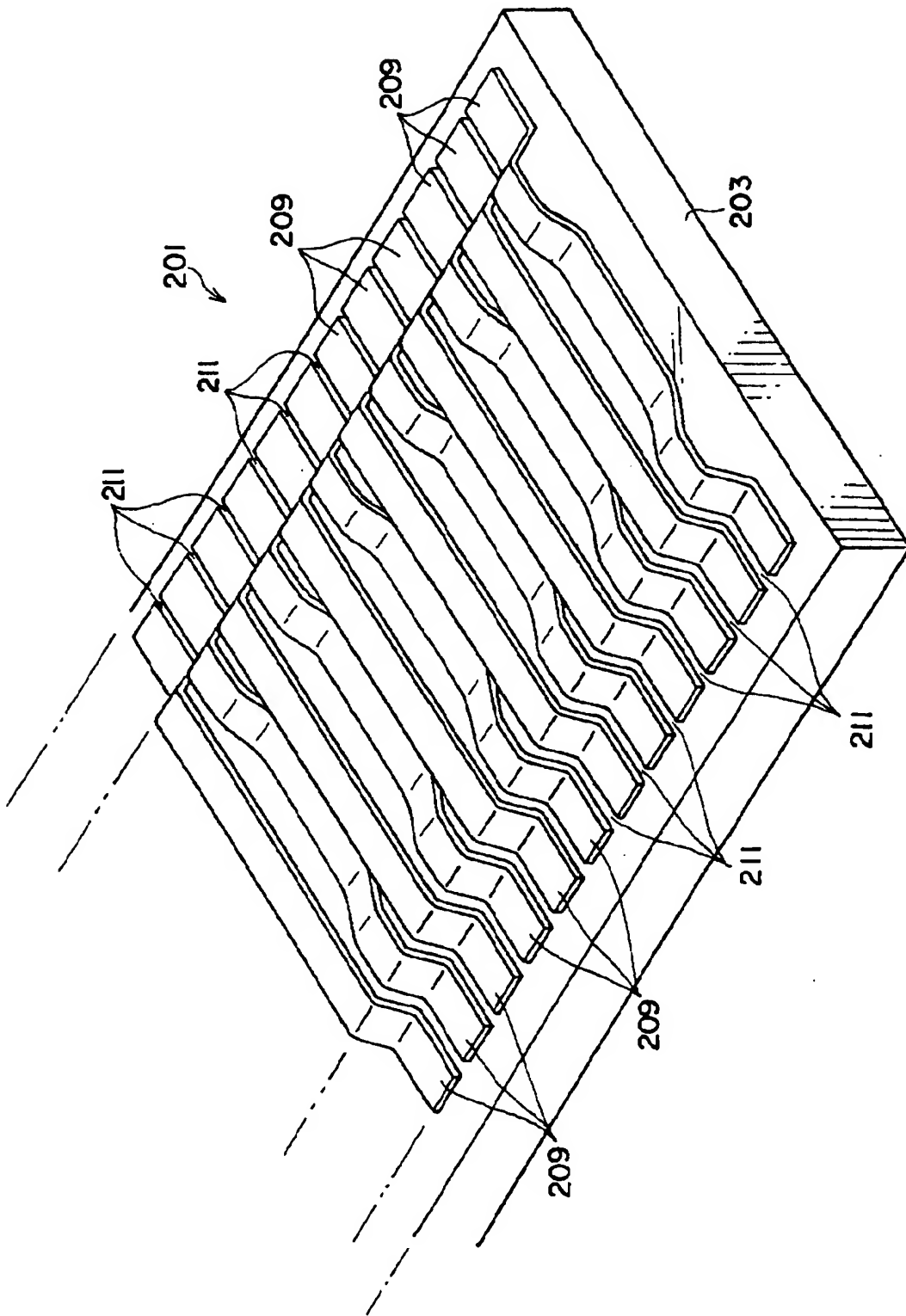
【図 2 0】



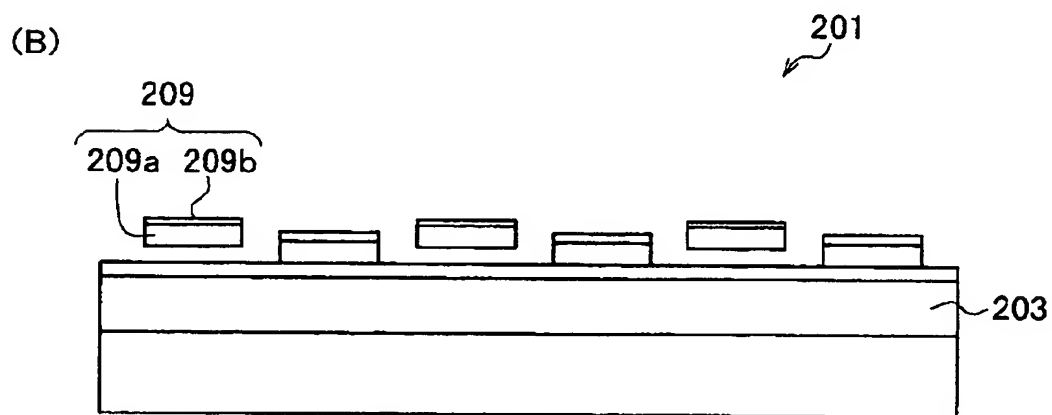
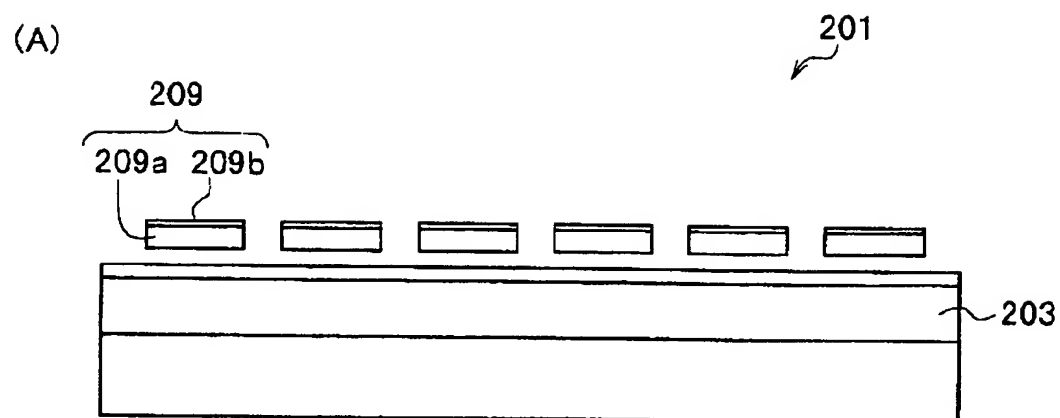
【図 2 1】



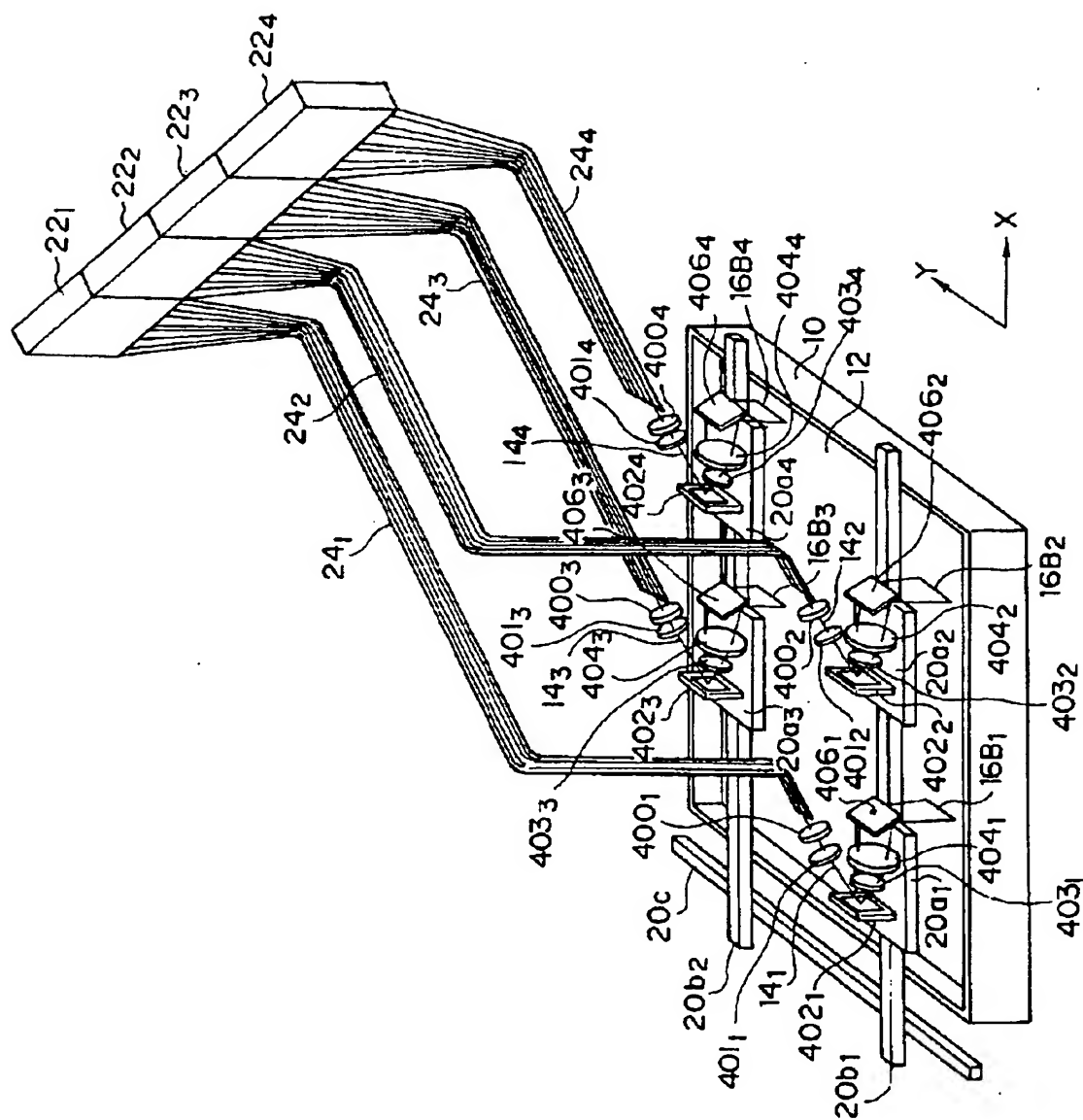
【図 22】



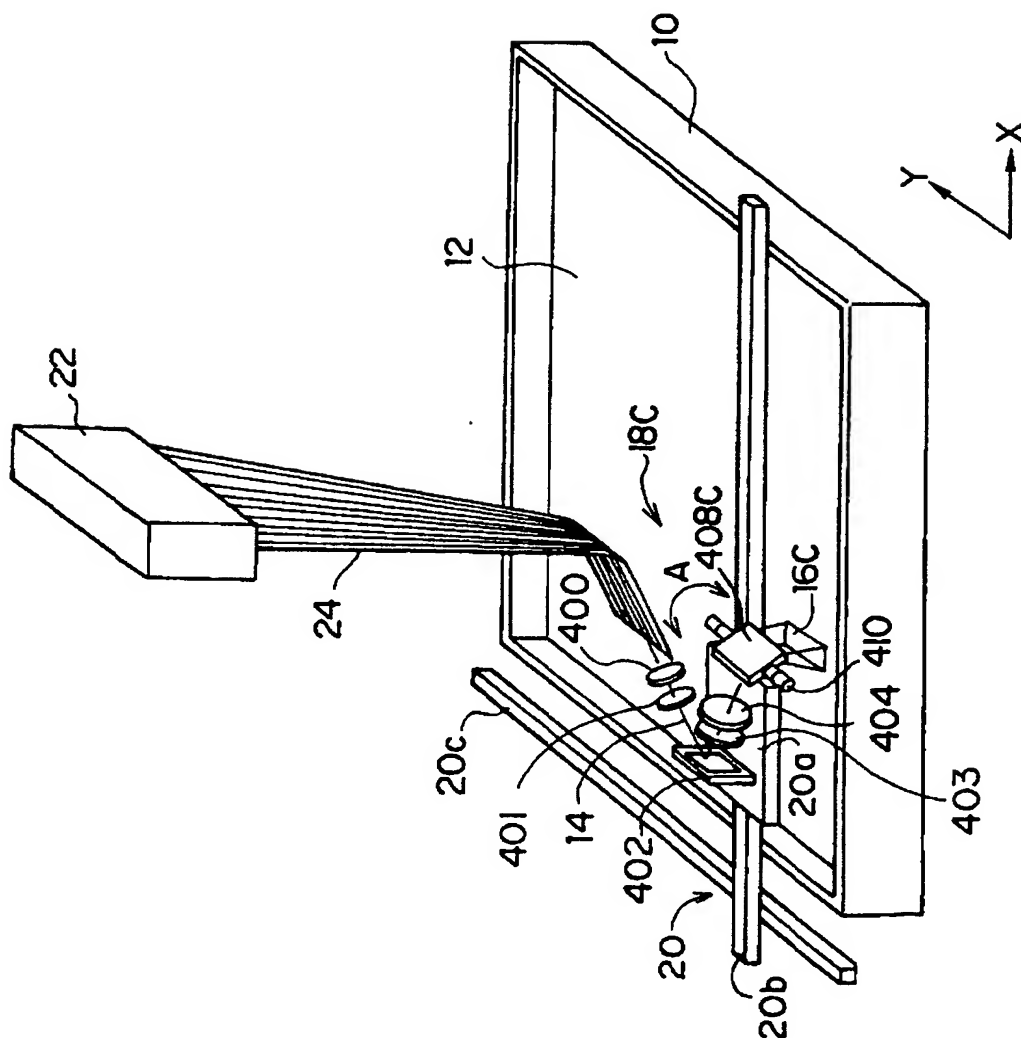
【図 2 3】



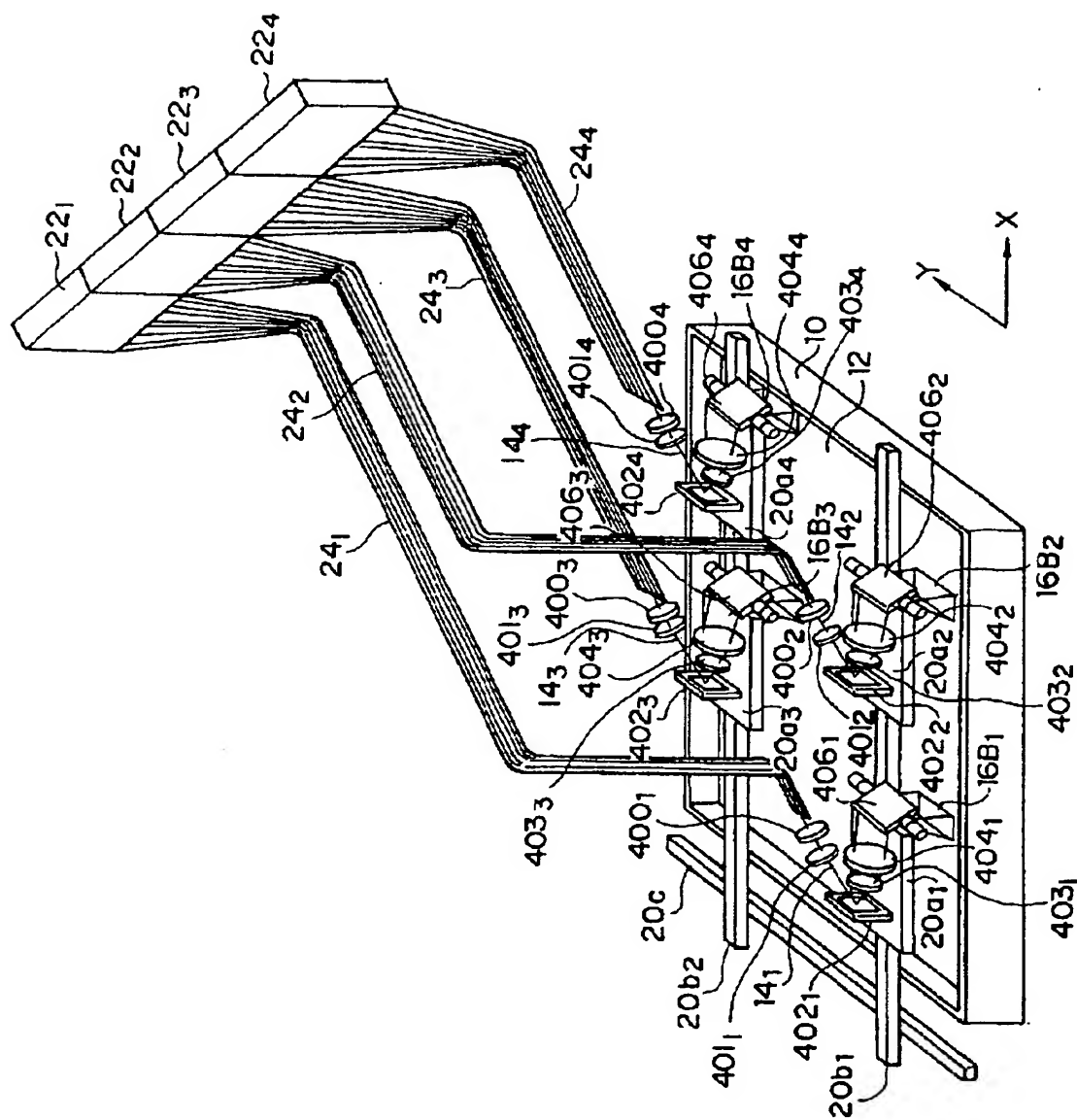
【図 2 4】



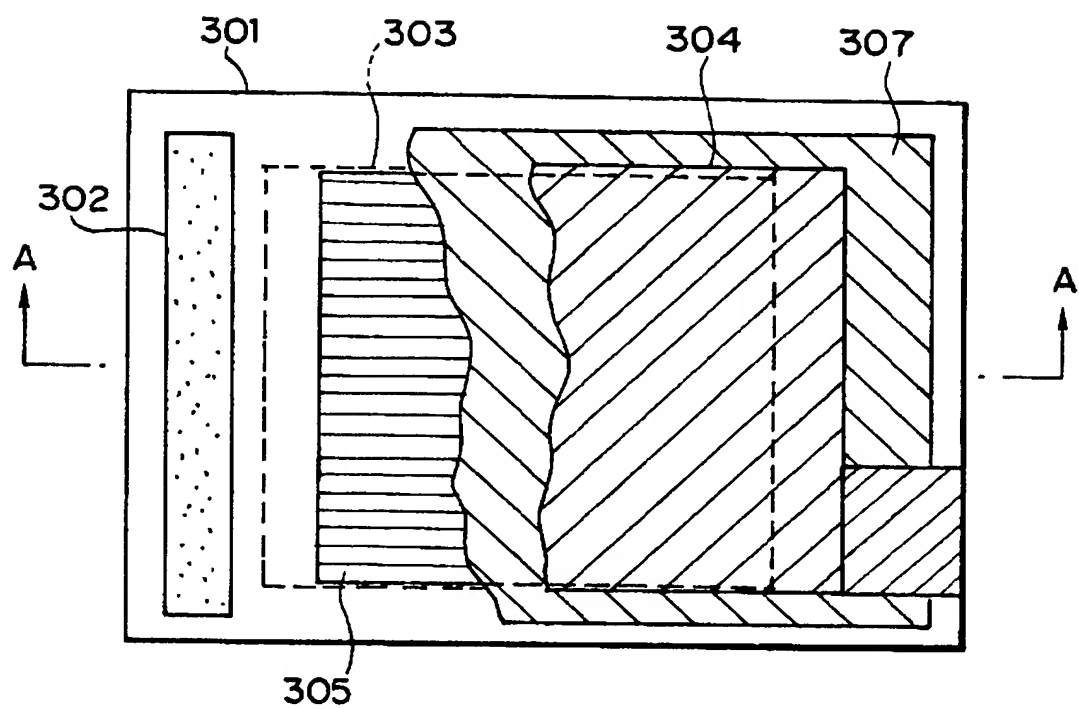
【図 2 5】



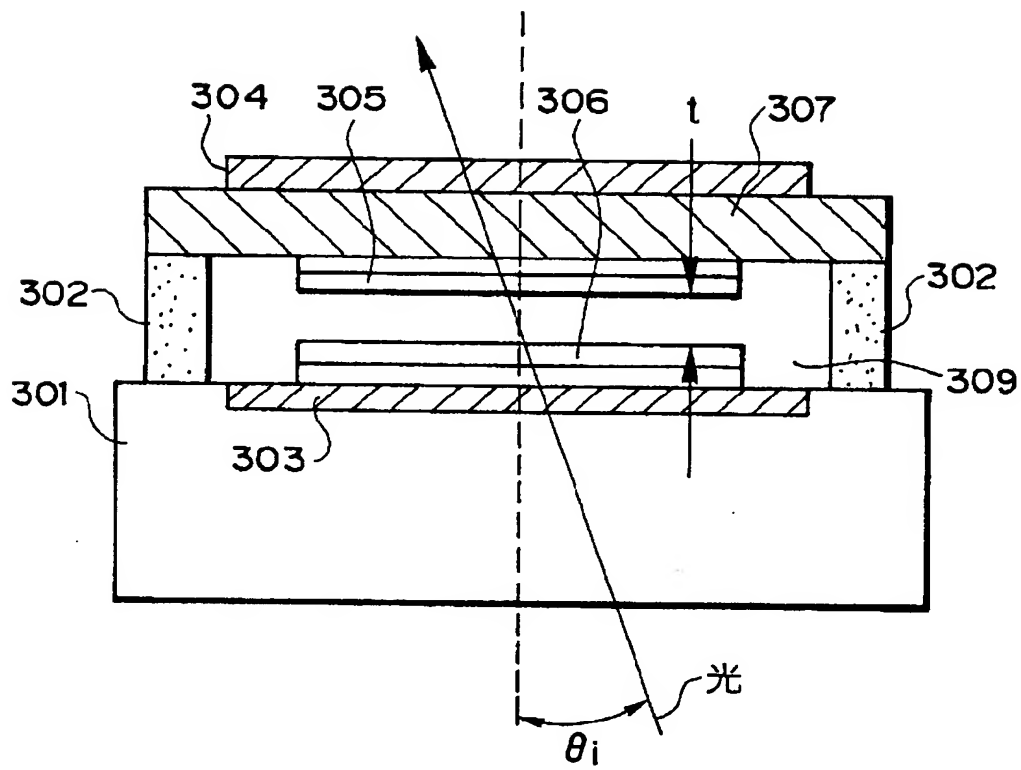
【図 26】



【図 2 7】

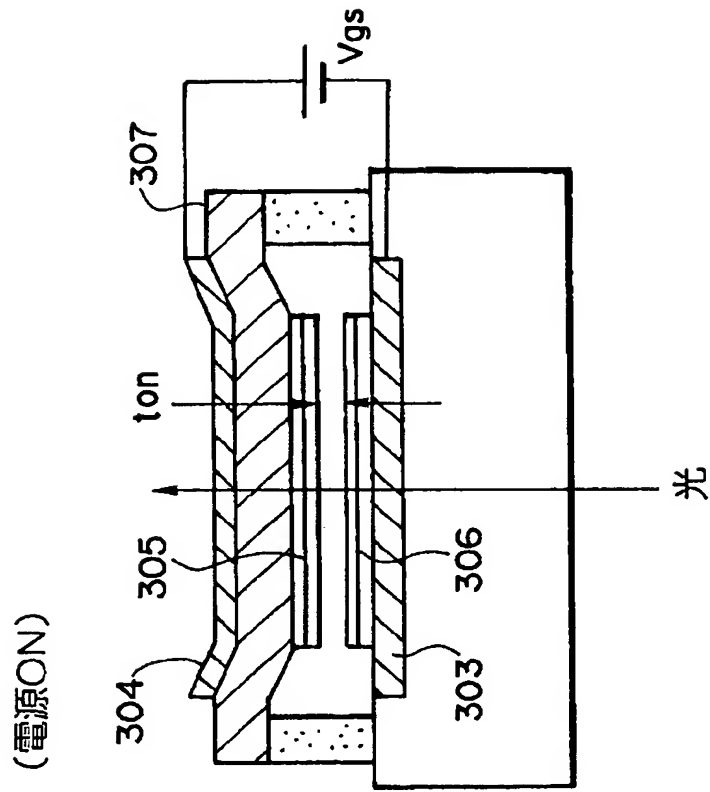


【図 2 8】

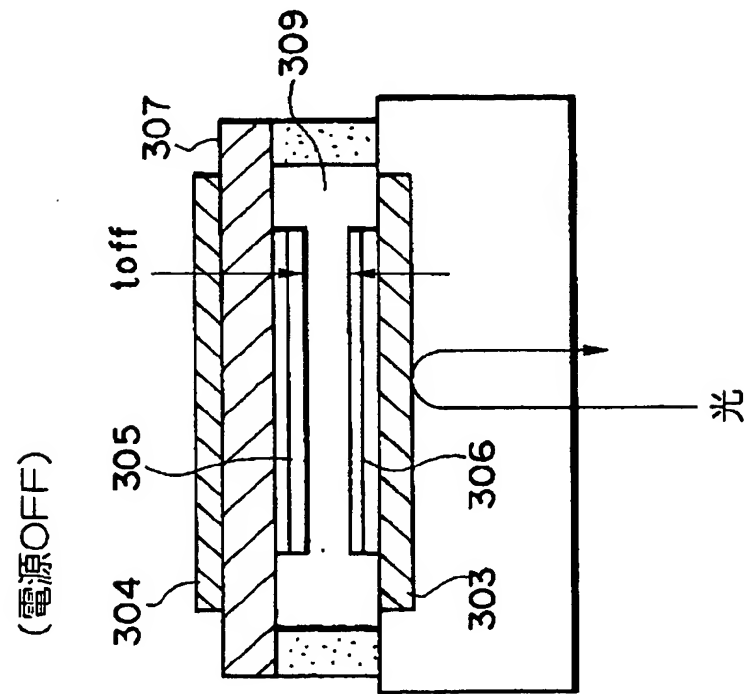


【図 2 9】

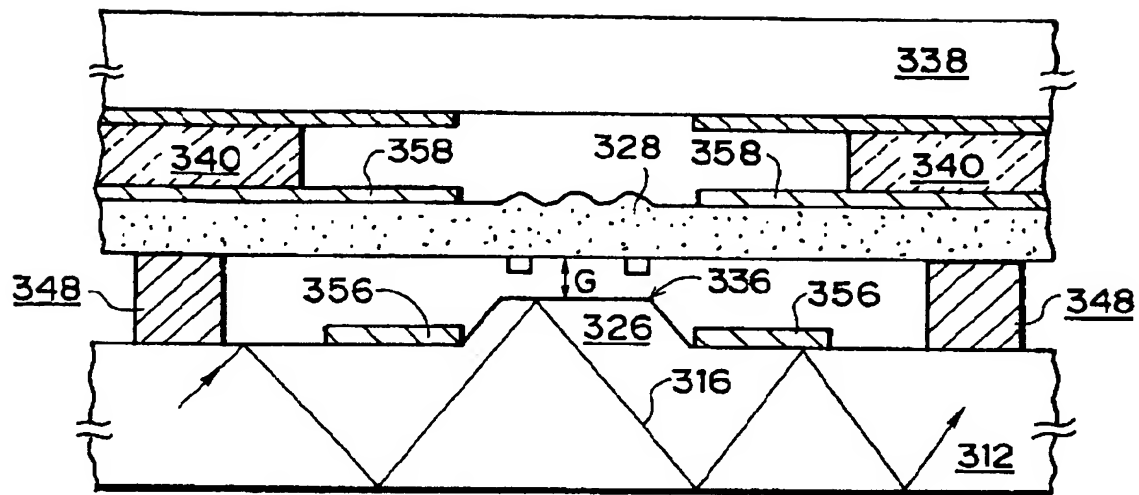
(B)



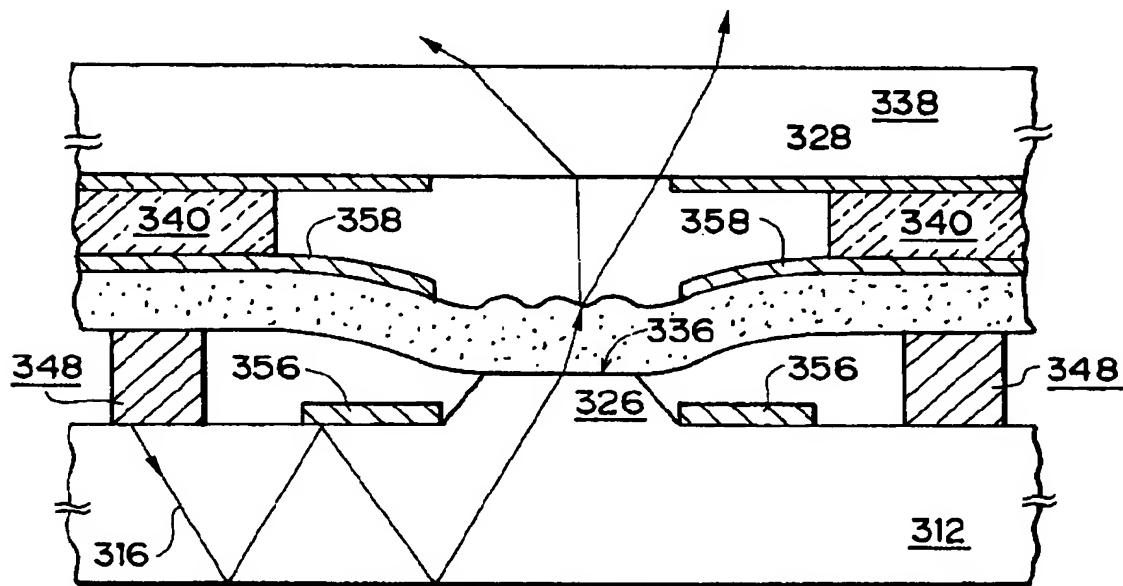
(A)



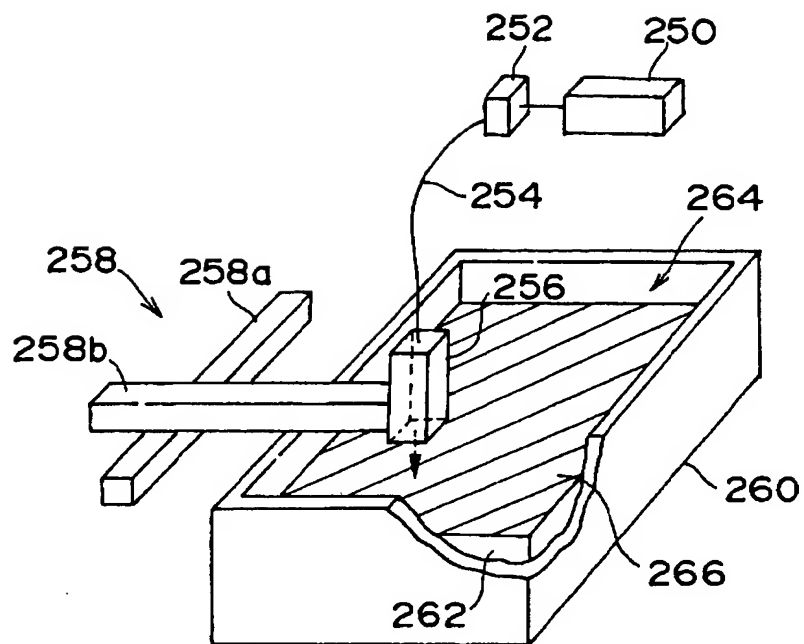
【図 30】



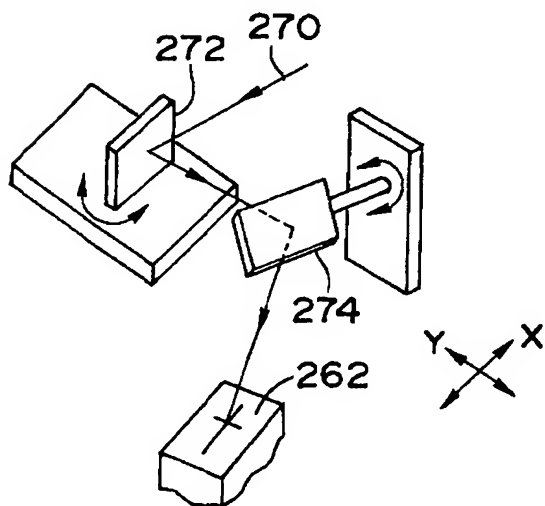
【図 31】



【図 3 2】



【図 3 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高速且つ高精細な造形を可能とする光造形装置を提供する。

【解決手段】 X Y 位置決め機構 2 0 により露光ユニット 1 8 の第 1 の位置が決定されると、第 1 の位置に応じた所定面積の領域 1 6 の画像データに応じて、DM D 2 8 のマイクロミラー 4 0 がオンオフ制御され、光源 2 2 から光ビームが出射された光ビーム 1 4 が光ファイバ 2 4 及びホモジナイザ光学系 2 6 を介して DM D 2 8 へ入射されて、画像データに応じて各画素毎に変調される。反射ミラー 3 2 の方向に反射された光ビーム 1 4 は、集光レンズ 3 0 により集光され、反射ミラー 3 2 により光硬化性樹脂 1 2 表面の方向に反射され、光硬化性樹脂 1 2 表面の所定面積の領域 1 6 内が光ビーム 1 4 で露光されて、露光された部分が硬化する。同様にして、露光ユニット 1 8 の移動と露光とを繰り返すことにより、光硬化性樹脂 1 2 の表面全体を露光する。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 1 - 2 7 4 3 6 0
受付番号	5 0 1 0 1 3 3 0 9 6 7
書類名	特許願
担当官	第六担当上席 0 0 9 5
作成日	平成 1 3 年 9 月 1 3 日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000005201
【住所又は居所】	神奈川県南足柄市中沼 2 1 0 番地
【氏名又は名称】	富士写真フイルム株式会社

【代理人】

申請人	
【識別番号】	100079049
【住所又は居所】	東京都新宿区新宿 4 丁目 3 番 1 7 号 H K 新宿ビル 7 階 太陽国際特許事務所
【氏名又は名称】	中島 淳

【選任した代理人】

【識別番号】	100084995
【住所又は居所】	東京都新宿区新宿 4 丁目 3 番 1 7 号 H K 新宿ビル 7 階 太陽国際特許事務所
【氏名又は名称】	加藤 和詳

【選任した代理人】

【識別番号】	100085279
【住所又は居所】	東京都新宿区新宿四丁目 3 番 1 7 号 H K 新宿ビル 7 階 太陽国際特許事務所
【氏名又は名称】	西元 勝一

【選任した代理人】

【識別番号】	100099025
【住所又は居所】	東京都新宿区新宿 4 丁目 3 番 1 7 号 H K 新宿ビル 7 階 太陽国際特許事務所
【氏名又は名称】	福田 浩志

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005201]

1. 変更年月日 1990年 8月14日
[変更理由] 新規登録
住 所 神奈川県南足柄市中沼210番地
氏 名 富士写真フイルム株式会社